مجلة
العلوم
الترجمة العربية لمجلة ساينتفيك أمريكان
تصدر شهرياً في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

المجلد 21 ـ العددان 11/10
أكتوبر/نوفمبر 2005

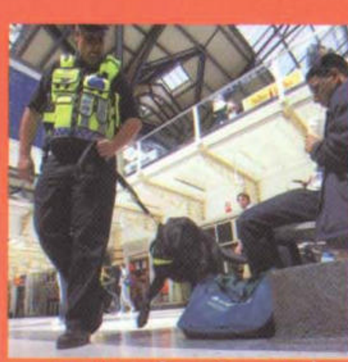
SCIENTIFIC AMERICAN
October / November 2005

العددان 211/210 ـ السعر: 1.500 دينار كويتي

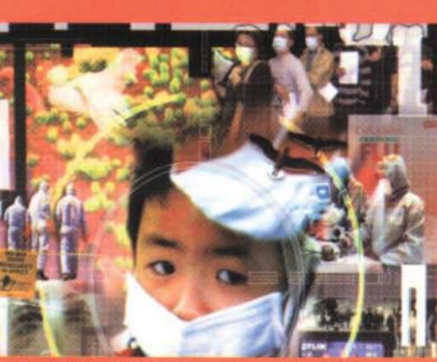
زيادة الوقت المتاح في إيقاف مؤقت لمظاهر الحياة



صعوبة التمييز بين الشيء ورمزه لدى صغار الأطفال



أفضل من الكلاب في كشف المتفجرات



استعدادات لمواجهة وباء عالمي: إنفلونزا الطيور

المقالات

ترجمة و مراجعة

«مجلة العلوم» تصدر شهريًا في الكويت منذ عام 1986 عن **«مؤسسة الكويت للتقدم العلمي»**، وهي مؤسسة أهلية ذات نفع عام، يرأس مجلس إدارتها صاحب السمو أمير دولة الكويت، وقد أنشئت عام 1976 بهدف المعاونة في التطور العلمي والحضاري في دولة الكويت والوطن العربي، وذلك من خلال دعم الأنشطة العلمية والاجتماعية والثقافية. و**«مجلة العلوم»** هي في ثلاثة أرباع محتوياتها ترجمة لـ**«ساينتفيك أمريكان»** التي تعتبر من أهم المجلات العلمية في عالم اليوم. وتسعى هذه المجلة منذ نشأتها عام 1845 إلى تمكين القارئ، غير المتخصص من متابعة تطورات معارف عصره العلمية والتقانية، وتوفير معرفة شمولية للقارئ، المتخصص حول موضوع تخصصه. تصدر **«ساينتفيك أمريكان»** بثماني عشرة لغة عالمية، وتتميز بعرضها الشيق للمواد العلمية المتقدمة وباستخدامها القيم للصور والرسوم الملونة والجداول.

استعدادات لمواجهة وباء عالمي(*)

يوما ما ستتسلل سلالة شديدة العدوى والفتك من فيروسات الإنفلونزا إلى جميع البشر لتحصد ملايين الأرواح. وقد تصل هذه السلالة خلال شهور أو تتأخر لسنوات، ولكن الوباء العالمي قادم لا محالة، **فهل نحن مستعدون؟**

<W. W. گيبس> ـ <Ch. سواريس>

عندما انهارت الحواجز الواقية في نيوأورليانز انهارت معها ثقة الأمريكيين بقدرة حكومتهم على حمايتهم من الكوارث الطبيعية أيضا، وهذا دعا <M. شيتروف> [وزير الأمن الوطني، الذي قاد عملية التصدي للإعصار على الصعيد الفدرالي] إلى وصف إعصار كاترينا والفيضان الذي رافقه «بالطامة الكبرى التي فاقت توقعات المخططين.»

إلا أن الفشل في الحقيقة لا يعود إلى فقدان البصيرة، فقد كان لدى السلطات المحلية والفدرالية وسلطات الولايات خطة توضح الكيفية التي ستتصرف وفقها الحكومات إذا ما اجتاح نيوأورليانز إعصار برياح تتجاوز سرعتها 120 ميلا في الساعة، وبموجات عاتية تكتسح الحواجز الطبيعية وتتجاوز قدرات مضخات المياه وتحتبس الآلاف من السكان داخل المدينة التي استباحتها مياه الفيضان، بل لقد طبقت هذه السلطات تلك الخطة عام 2004، ومع ذلك كان تنفيذ هذه الخطة في غاية السوء عندما ضرب إعصار كاترينا المدينة.

وقد أثارت الاستجابة المتخاذلة والسيئة التنسيق والتي لا ترقى إلى حجم الكارثة القلق حول كيفية تصدي الأمة، في الوقت الحاضر، لكارثة طبيعية أكثر شراسة وتدميرا مما حذر منه العلماء في كاترينا، وربما تحدث قريبا ونعني بها وباء الإنفلونزا العالمي. فالتهديد الذى يشكله وباء الإنفلونزا أكثر خطورة، ومقارنته بإعصار كاترينا تجعله أخطر كثيرا مما يبدو. فالاجتياحات السنوية المعتادة للإنفلونزا وللأعاصير كانت مصدرا للاعتياد عليها، وهذا يغذي الشعور بالاسترخاء والتحضير غير الكافي لمواجهة الخطر الأكبر حجما والذي يحذر الخبراء من أنه قادم لا محالة.

ولعل أهم ما ينبغي أن نفهمه حول الوباء الخطير للإنفلونزا، باستثناء ما هو على الصعيد الجزيئي، أن هذا المرض يحمل شبها ضئيلا بالإنفلونزا التي أُصبنا بها جميعا أحيانا؛ فأي وباء للإنفلونزا وفقا لتعريفه، لا يحدث إلا إذا تحور (تطفَّر) الجهاز المناعي لفيروس الإنفلونزا بدرجة كبيرة غير مألوفة تجعله قادرا على أن ينتقل من إنسان إلى آخر مع السعال أو العطاس أو الملامسة.

ويحدث وباء الإنفلونزا على نحو غير متوقع كل جيل تقريبا، وكانت الأوبئة الثلاثة الأخيرة منها قد حدثت في الأعوام 1918 و 1957 و 1968. وقد انطلقت عندما تطورت إحدى سلالاتها العديدة التي تسري باستمرار في الطيور البرية والمنزلية إلى شكل يصيب الناس بالعدوى، إذ ما يلبث هذا الفيروس أن يتحور[1] أكثر فأكثر أو يبادل ببعض جيناته جينات سلالات فيروسات الإنفلونزا التي تصيب البشر لتنشأ فيروسات جديدة شديدة العدوى بين الناس.

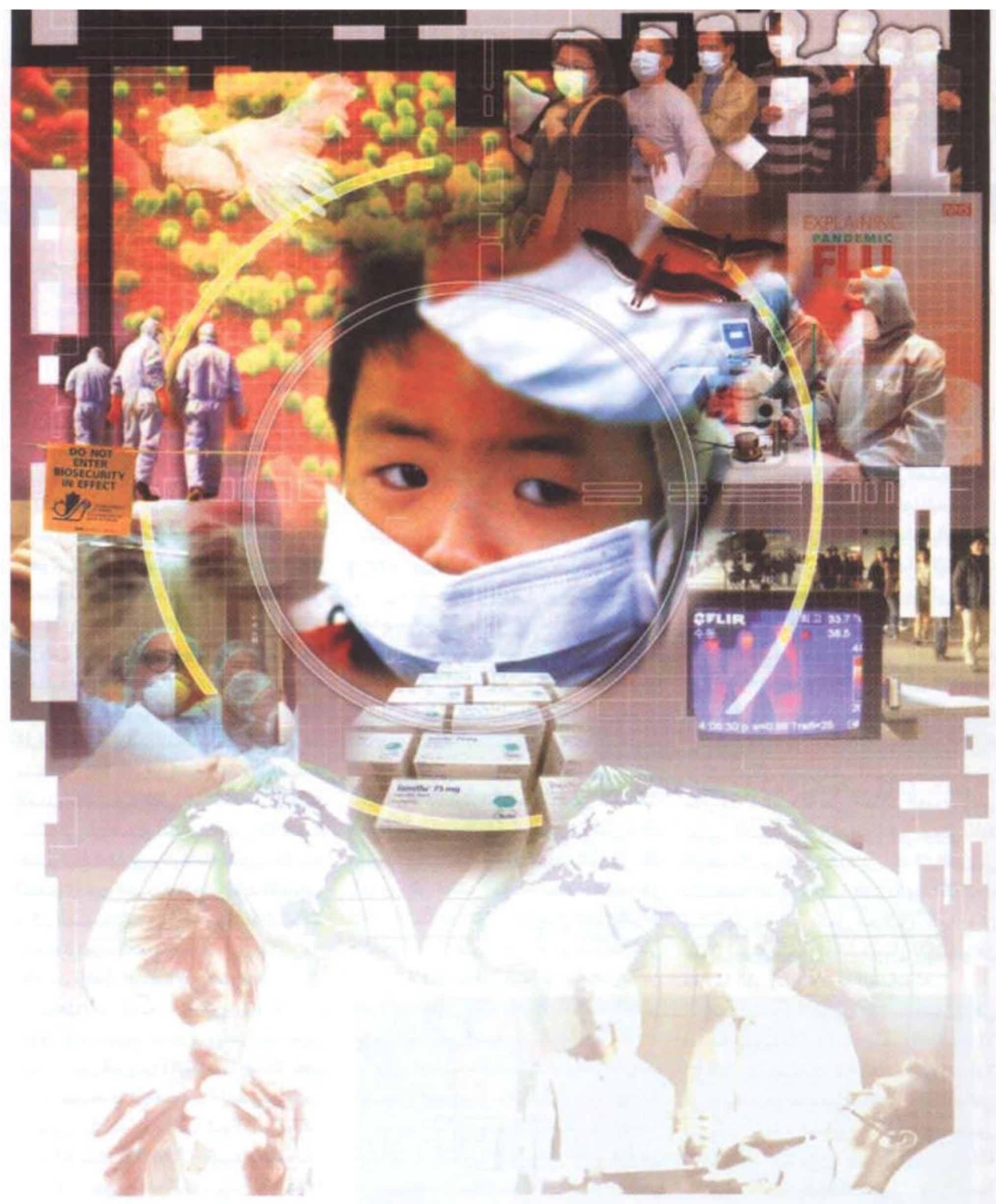
وإذا كان بعض الأوبئة خفيف الوطأة فإن بعضها الآخر يتسم بالشراسة، وبخاصة عندما يتكاثر الفيروس بطريقة أسرع من تعلم الجهاز المناعي لطريقة الدفاع عن نفسه تجاهه، وعندئذ فإنه يسبب أمراضا وخيمة، وقد يكون مميتا، وقد يؤدي إلى وباء عالمي ربما يهدد حياة أعداد من الناس في عام واحد تزيد على ما سببه الايدز في 25 عاما. وقد حذر المختصون بالوبائيات أن الجائحة القادمة قد تصيب واحدا من بين كل ثلاثة من سكان هذا الكوكب، ما يؤدي إلى إدخال الكثير من هؤلاء المصابين إلى المستشفيات، وقتل ما بين عشرات الملايين إلى مئات الملايين منهم. ولن يفلت من شر هذا المرض بلد أو عرق أو مجموعة ذات دخل معين، ولن يكون هناك طريقة محددة لتجنب الإصابة به.

ولا يستطيع العلماء التنبؤ أي سلالات فيروس الإنفلونزا هي التي ستسبب الوباء أو متى سيحدث الوباء القادم، ولكنهم يستطيعون فقط التحذير بأن ثمة وباء قادما وأن الظروف مهيأة لسلالة شرسة من سلالات الإنفلونزا تقتل الناس في آسيا

نظرة إجمالية/ خطة مكافحة الإنفلونزا المستجدة(**)

- يحذِّر العلماء من أن وباء عالميا ناجما عن بعض سلالات الإنفلونزا المستجدة قادم لا محالة، ويمثل تهديدا خطيرا على الصحة العامة.
- قد ينتشر الوباء حالا وقد يتأخر لعدة سنوات، فقد قتلت إنفلونزا الطيور H5N1 أكثر من 60 شخصا في آسيا، وهذا يدعو للحذر؛ فحتى لو توقفت هذه الفاشية[2] ينبغي الاستمرار بشبكة عالمية للترصد للتحذير من السلالات المهددة الأخرى.
- ستصل حُقَن اللقاحات المتوافقة مع الفيروس الجديد متأخرة جدا، وذلك للوقاية من الوباء أو لإبطاء المراحل المبكرة منه. ولكن الاستجابة السريعة بإعطاء الأدوية المضادة للفيروسات يمكنها احتواء سلالات الإنفلونزا المستجدة في مواقع اندلاعها، ولو على نحو مؤقت، وهذا يؤدي إلى كسب بعض الوقت للاستعداد على الصعيد الدولي.
- تعتمد شدة المرض على السلالة المسببة للوباء والاستعدادات الصحية المتوافرة.

PREPARING FOR A PANDEMIC (*)
Overview/ The Plan to Fight a New Flu (**)
reassorted (1)
outbreak (2)



وتنقل العدوى للطيور وتقترب بسرعة باتجاه أوروبا. ومع أن السلالة H5N1 من ڤيروس الإنفلونزا لم تنتقل بعد من شخص إلى آخر، فإن الڤيروس في طريقه للتطور في الوقت الذي بدأت فيه بعض أنواع الطيور المصابة هجرتها الشتوية.

وبتنامي الشعور بمدى إلحاح القضية، تعمل الحكومات والخبراء الصحيون على تدعيم أربعة خطوط دفاعية في وجه الوباء، هي: التقصي واللقاحات وإجراءات الاحتواء والعلاج الطبي (الدوائي). وتخطط الولايات المتحدة للإعلان عن خطة الاستعداد لمواجهة الوباء بحلول الشهر 2005/10. وتتضمن الخطة دراسة مسحية لكل خط من هذه الخطوط الدفاعية. ومع أن بعض حالات الفشل لا يمكن تجنبها، فإنه كلما كانت الاستعدادات المتخذة أكثر قوة كانت معاناة الناس أقل. وقد طرح إعصار كاترينا هذا السؤال: هل سيكون باستطاعة السلطات الالتزام بخططها حتى عندما تعطل الإنفلونزا جزءا كبيرا من القوى العاملة فيها؟

تطور وباء

1918	1957	1968	1997	1999	2003	2004/1
قتل الوباء (السلالة H1N1) 40 مليون شخص في العالم.	قتل الوباء (السلالة H2N2) 4-1 ملايين شخص في العالم.	قتل الوباء (السلالة H3N2) مليون شخص في العالم.	سلالة فيروس إنفلونزا الطيور H5N1 أصابت 18 شخصا، قتلت منهم 6 في هونك كونك.	أصابت سلالة الفيروس H9N2 طفلين بالعدوى في هونك كونك.	مع انتشار الإنفلونزا H5N1 بين الدواجن في 8 من البلدان الآسيوية، أصابت السلالة H7N7 ألف شخص في هولندا.	تأكدت إصابات بشرية بالفيروس H5N1 في كل من تايلند وفيتنام.

التقصي: ما هي الإنفلونزا حتى الآن؟(*)

يتمثل خط الدفاع الأول لمواجهة الإنفلونزا الجديدة في القدرة على توقع حدوثها. وتعمل ثلاث منظمات دولية على تنسيق الجهود المتخذة على الصعيد العالمي لاقتفاء السلالة H5N1 وغيرها من سلالات فيروس الإنفلونزا؛ إذ ترصد منظمة الصحة العالمية (WHO) الحالات البشرية عبر 110 مراكز مخصصة للإنفلونزا، وتتوزع هذه المراكز في 83 بلدا؛ فيما تجمع كل من منظمة الأغذية والزراعة (FAO) والمنظمة العالمية للصحة الحيوانية (OIE) [وكانت تسمى من قبل المكتب الدولي للأوبئة الحيوانية] التقارير والبلاغات حول فاشيات الإنفلونزا بين الطيور والحيوانات الأخرى. ولكن القائمين على إدارة شبكات الترصد هذه يعترفون بأنهم مازالوا يعانون الكثير من الثغرات والبطء الشديد في عملهم.

وتعد السرعة أمرا جوهريا عند التعامل مع فيروس سريع التحرك وينتقل عن طريق الهواء، مثل فيروس الإنفلونزا. وقد لا يكون أمام السلطات أي فرصة للحيلولة دون انتشار الوباء المخيف ما لم تنجح في احتوائه خلال 30 يوما (*انظر «الاستجابة السريعة»، في الصفحة 11*). وقد بدأت دقات الساعة بالاقتراب من اللحظة التي تصبح فيها أولى ضحايا سلالات الفيروسات الوبائية قادرة على نقل العدوى إلى غيرها.

ولعل الطريقة الوحيدة لاقتناص بزوغ الوباء في الوقت المناسب هي الترصد المستمر لانتشار كل فاشية ولتطور قدرات الفيروسات. وتعمل منظمة الصحة العالمية على تقييم هذين العاملين لمعرفة أين يقع العالم حاليا ضمن دورة الوباء. ويقسِّم أحد الدلائل الإرشادية التي صدرت في الشهر 2005/4 دورة الوباء إلى ست مراحل.

إن فاشيات إنفلونزا البشر المحدودة والناجمة عن السلالة H5N1 التي شوهدت حتى اليوم قد رفعت مستوى التيقظ والحذر إلى المرحلة الثالثة، فلا يفصلها عن المرحلة السادسة التي تمثل الوباء الحقيقي سوى خطوتين. ويحاول المختصون بالفيروسات الحصول على عينات من كل مريض جديد يصاب بالإنفلونزا الناجمة عن السلالة H5N1 لكشف علامات التحوّر في فيروسات الطيور، وهل أصبحت أكثر فعالية في نقل العدوى إلى البشر. فهذه السلالة تتطور في شكلين، أحدهما تطور تدريجي عبر طفرات عشوائية، والآخر تطور أكثر سرعة على شكل سلالات تبادلت جيناتها مع غيرها من السلالات ضمن أحد الطيور أو أحد البشر (*انظر الإطار في الصفحة المقابلة*).

وفي الولايات المتحدة نظام معقد لترصد الإنفلونزا بتجميع المعلومات حول زيارات المستشفيات بسبب أمراض شبيهة بالإنفلونزا وبسبب الوفيات الناجمة عن أمراض تنفسية وعن سلالات الإنفلونزا التي تكتشف في مختبرات الصحة العامة وتجميعها لدى مراكز مكافحة الأمراض والوقاية منها (CDC) في أتلانتا. وقد قالت <J. L.> جيربيردينگ> [مديرة مراكز مكافحة الأمراض والوقاية منها] في مؤتمر عُقد في الشهر 2005/2: «لما كان النظام لا يتمتع بسرعة كافية لعزل السلالات الفيروسية وإجراء الحجر الصحي اللازم لمعالجة إنفلونزا الطيور، فقد وسّعنا نطاق شبكاتنا من الأطباء البشريين والبيطريين.»

وفي عشرات الحالات التي أصيب فيها مسافرون قدموا إلى الولايات المتحدة من بلدان آسيوية حدثت فيها إصابات بالفيروس H5N1 بأعراض شديدة شبيهة بالإنفلونزا، أرسلت العينات على وجه السرعة إلى مراكز مكافحة الأمراض والوقاية منها. ويقول <A. كليموف> [الذي يعمل في الفرع المهتم بالإنفلونزا في هذه المراكز] «خلال 40 ساعة من دخول المريض إلى المستشفى نستطيع تحديد فيما إذا كان مصابا بالفيروس H5N1 أو لا. وخلال 6 ساعات أخرى يمكننا تقدير مدى قدرة السلالة على إحداث العدوى (عبر تحليل المتتاليات الجينية في جينة المادة الراصة للدم «الهيماگلوتنين»، إذ إن الفيروس يستخدم المادة الراصة للدم «الهيماگلوتنين» ليشق طريقه إلى داخل الخلايا). كما يمكن خلال يومين إجراء اختبار للكشف عن مقاومة الفيروس للأدوية المضادة له.

يمكن للوباء العالمي القادم أن يهاجم في أي مكان، ويشمل ذلك الولايات المتحدة، إلا أن الخبراء يعتقدون أنه يغلب أن يظهر أولا في آسيا، وهو ما فعلته معظم السلالات التي سببت الأوبئة السنوية المعتادة. فالطيور المائية، مثل البط والوز، هي الحيوانات العائلة (المضيفة) الطبيعية للإنفلونزا. وفي آسيا يخالط معظم الفلاحين هذه الحيوانات مخالطة وثيقة، ولايزال الترصد في تلك المنطقة ضعيفا على الرغم من المساعدة البطيئة التي تقدمها منظمة الصحة العالمية ومراكز مكافحة الأمراض والوقاية منها، وغيرهما من المنظمات.

وقد أوضحت فاشية الفيروس H5N1

(*) Surveillance: What Is Influenza Up to Now?

2004	الشهر 9	2005/4	الشهر 6	الشهر 7	الشهر 8	الشهر 9
	طلبت الولايات المتحدة مليوني جرعة من اللقاح المضاد للفيروس H5N1.	سمح الرئيس «بوش» بفرض الحجر الصحي على من يتعرض للإنفلونزا الوبائية.	نفوق 6000 من الطيور البرية بسبب الإنفلونزا H5N1 في إحدى البحيرات في وسط الصين.	3 أفراد من إحدى العائلات الريفية في إندونيسيا توفوا بسبب الفيروس H5N1.	بدأت فيتنام بتمنيع (تطعيم) 20 مليون من الطيور ضد الفيروس H5N1.	منذ عام 2003 أصاب الفيروس H5N1 بالعدوى طيورا في 13 بلدا، وبشرا في 4 بلدان.
				قتلت روسيا الدواجن بسبب تسلل الإنفلونزا H5N1 إلى سيبيريا.	عثر على الإوز والبجع النافق بسبب الفيروس H5N1 في منگوليا.	وصل الوباء إلى الدواجن في جبال الأورال الروسية.
				اكتشاف الإنفلونزا H5N1 في أسراب الوز في كازاخستان.		

التي حدثت مؤخرا في إندونيسيا المشكلات التي سببتها، كما أظهرت مدى التقدم المحرز لمواجهتها. ففي إحدى الضواحي الغنية نسبيا في جاكرتا، شعرت ابنة أحد المفتشين الحكوميين، التي تبلغ من العمر ثمانية أعوام بالمرض في نهاية الشهر 2005/6، وقد أعطاها أحد الأطباء المضادات الحيوية، إلا أن حرارتها تفاقمت، وهذا أدى إلى إدخالها للمستشفى في 6/28. وبعد مضي أسبوع أُدخِل كل من والدها وأختها، التي تبلغ من العمر ست سنوات، إلى المستشفى لإصابتهما بالحُمّى والسعال. وما لبثت الطفلة أن ماتت في 2005/7/9، فيما مات الوالد في الثاني عشر من الشهر نفسه.

وفي اليوم التالي أبلغ أحد الأطباء الفطنين السلطات الصحية بذلك، وأرسلت عينات من الدم والنُّسُج إلى وحدة الأبحاث الطبية في البحرية الأمريكية في جاكرتا. وما لبثت الفتاة أن ماتت في 7/14. وأوضح تقرير داخلي صدر في ذلك اليوم أن الفنيين الإندونيسيين في مختبرات البحرية كشفوا عن اثنين من أفراد العائلة مصابَيْن بالإنفلونزا الناجمة عن الفيروس H5N1، ولم تعترف الحكومة بهذه الحقيقة حتى 2005/7/22، وذلك بعد أن قام أحد مختبرات منظمة الصحة العالمية في هونك كونك بعزل الفيروس وتحديده على نحو قاطع.

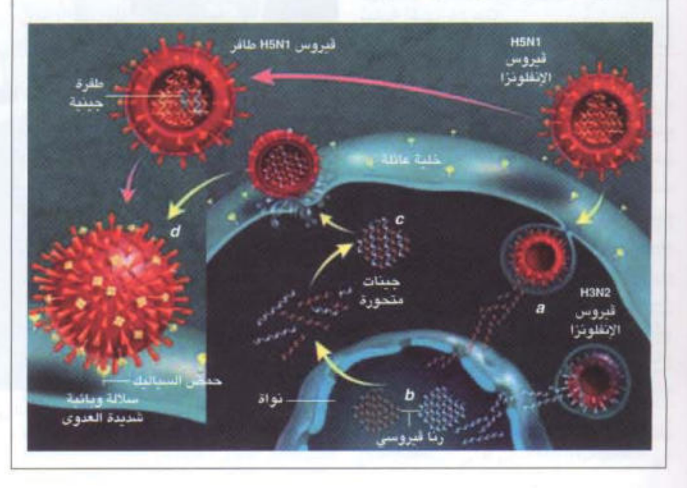
وسارعت الإدارة الصحية حينذاك لتجهيز عنابر المستشفى لاستقبال المزيد من مرضى الإنفلونزا، فيما طلب <I. N. كاندان> [رئيس قسم مكافحة الأمراض في إندونيسيا] إلى العاملين في منظمة الصحة العالمية تقديم المساعدة على تقصي الفاشية. ولو اعتبرنا ذلك بداية للوباء فقد انغلقت نافذة الاحتواء لها، التي دامت ثلاثين يوما؛ ثم طلب <كاندان> إيقاف التقصيات بعد أسبوعين، قائلا: «لم نستطع تحديد المصدر الذي أصاب الناس بالعدوى.»

وقد حالت التقاليد دون إجراء الفحص التشريحي على جثث هؤلاء الضحايا الثلاث، وقد شكا <C. شتور> [الذي يعمل في برنامج منظمة الصحة العالمية المعني بالإنفلونزا] أن الانعدام الذي يكاد يكون تاما لتشريح الجثث المصابة بالفيروس H5N1 قد ترك الكثير من الأسئلة التي تحتاج إلى الإجابات. فأي الأعضاء يصاب بعدوى الفيروس H5N1؟ وأي هذه الأعضاء عرضة لأشد درجات التلف؟ وإلى أي مدى من القوة تتسم به الاستجابة المناعية؟

وقد ساور القلق المختصين بالفيروسات لقلة ما لديهم من معلومات حول دور الطيور المهاجرة في نقل المرض عبر الحدود، ففي الشهر 2005/7

كيف تستجد سلالات الأوبئة(*)

سلالات الطيور من الإنفلونزا A، مثل H5N1، يمكن أن تتطور عبر طريقتين إلى فيروس قادر على إحداث الوباء (يستطيع أن يرتبط بسهولة بحمض السياليك على سطح الخلايا البشرية): الطفرات الجينية والانتقاء الطبيعي يمكنهما أن يجعلا الفيروس أكثر كفاءة في سعيه إلى دخول الخلية (الطريقة الأولى ـ *المسار الوردي*). أما الطريقة الأخرى (*المسار الأصفر*) فتوضح كيف يمكن لسلالتين من فيروس الإنفلونزا أن تصيبا بالعدوى الخلية نفسها (*a*)، فتطلق كلٌّ منهما ما يخصها من حمض الرنا RNA، ثم يُستَنْسَخ رنا كلتا السلالتين الفيروسيتَيْن داخل نواة الخلية (*b*)؛ ثم يمكن للرنا من كلتا السلالتين أن يمتزجا معا، بحيث تظهر مجموعة من الجينات المتحورة (*c*)، وينتج من ذلك ظهور سلالة وبائية جديدة شديدة العدوى.



How A Pandemic Strain Emerges (*)

بدأت الطيور الداجنة المصابة بعدوى الڤيروس H5N1 بالظهور في سيبريا، ثم في كازاخستان، ثم في روسيا. أما كيف تصاب هذه الطيور بالعدوى بالڤيروس H5N1 فمازال سرا.

وبدافع من الإحباط بسبب غياب الأجوبة عن الكثير من الأسئلة، حث <شتور> وغيره من العلماء على تشكيل فريق عمل عالمي للإشراف على التحضيرات لمواجهة الوباء العالمي. وما لبثت المنظمة الدولية للصحة الحيوانية أن طلبت في الشهر 2005/8 المزيد من الأموال لتقديم الدعم لبرامج الترصد التي أقامتها بالاشتراك مع كل من منظمة الصحة العالمية ومنظمة الأغذية والزراعة.

ويقول <G .B. كلين> [الذي ينسق التخطيط لمواجهة الأوبئة في الولايات المتحدة من موقعه رئيسا لمكتب البرنامج الوطني للقاحات في وزارة الصحة والخدمات البشرية]: «من الواضح أننا بحاجة إلى تحسين قدراتنا على كشف الڤيروس، ونحتاج إلى الاستثمار في تلك البلدان التي ظهر فيها المرض لمساعدتها، فذلك من شأنه أن يساعد جميع الناس.»

اللقاحات، من الذي سيحصل عليها وبأي سرعة؟(*)

لقد سبق أن هدد البشريةَ كلٌّ من الجدري وشلل الأطفال، إلا أن التمنيع(1) المعمم على نطاق واسع قد دفع بهما إلى حافة الاستئصال. ولسوء الحظ فإن هذه الاستراتيجية لن تجدي نفعا مع الإنفلونزا ما لم يحدث تقدم كبير في تقانة اللقاحات على الأقل.

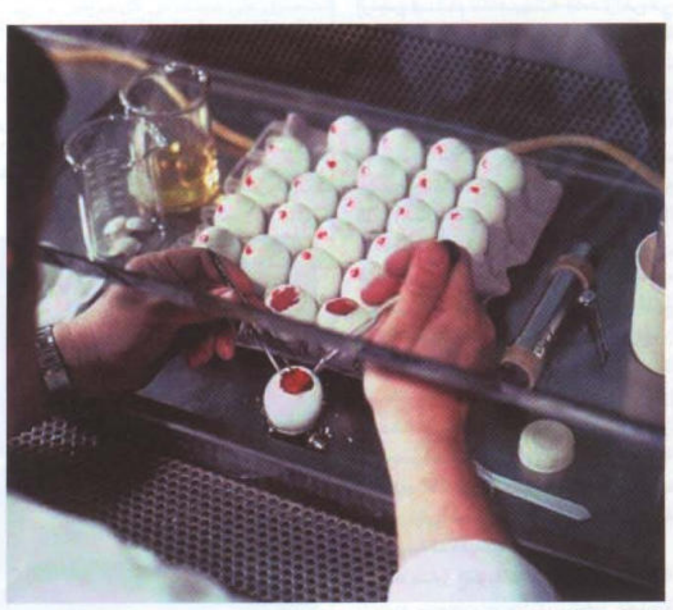
وفي الحقيقة، إذا حدث وباء الإنفلونزا في القريب العاجل فإن اللقاحات المضادة للسلالات المستجدة ستكون بطيئة جدا في وصولها وشحيحة جدا في إمداداتها؛ ويسهم في ذلك كل من البيولوجيا والاقتصاديات والرضا عن النفس.

في وقت واحد ينتشر العديد من سلالات ڤيروسات الإنفلونزا، وكل واحدة منها تتطور باستمرار. ويشرح <كلين> ذلك بقوله: «كلما كان التوافق بين اللقاح والڤيروس أفضل، كان دفاع الجهاز المناعي عن نفسه تجاه ذلك الڤيروس أفضل.» وهكذا فإن المصانع تُنتج كل عام لقاحا جديدا وتستخدم فيه مضادات لأكثر ثلاث من سلالات الڤيروس تهديدا، إذ يقوم المختصون بالبيولوجيا بعزل الڤيروس ثم تحويره باستخدام عملية تسمى الوراثيات المعكوسة(2) تؤدي إلى صنع ڤيروس يعرف باسم «الڤيروس البذرة»(3). وفي مصانع اللقاحات تحقن الإنسالات (الروبوتات) تلك الڤيروسات البذرية في بويضات مخصبة وضعتها دجاجات رُبِّيت تحت ظروف صحية، ولا يلبث الڤيروس المُمْرِض أن يتكاثر على نطاق واسع داخل البويضات.

وتصنع حُقَن لقاحات الإنفلونزا بتشريح كيميائي للڤيروس واستخلاص البروتينات الرئيسية منه، والتي يطلق عليها المستضدات(4). والمستضدات تستثير الجهاز المناعي للإنسان لصناعة الأضداد المناسبة. وهناك نوع مختلف من اللقاحات، يمكن استنشاقه بدلا من حقنه، ويتضمن ڤيروسا حيا عُرِّض للإتلاف لدرجة أصبح معها قادرا على أن يسبب العدوى ولكن من دون أن يسبب المرض. وتتطلب هذه العملية ستة أشهر لتحويل الڤيروسات المعزولة إلى قنانٍ زجاجية في داخلها اللقاحات.

وبسبب عدم تعرض الناس من قَبل لسلالة من سلالات الإنفلونزا التي تسبب الأوبئة، يحتاج كل واحد منهم إلى جرعتين من اللقاح: الأولى أولية والأخرى معزِّزة وداعمة تعطى بعد الأولى بأربعة أسابيع. وهكذا، لن تتطور المناعة لدى الناس، وحتى لدى الذين سيتلقون اللقاح في اللحظات الأولى للوباء، إلا بعد سبعة أو ثمانية أشهر من بدئه.

ومن دون شك، لن تكون هناك طريقة ما لتدارك ذلك. فالكميات المنتجة من لقاح الإنفلونزا على الصعيد العالمي تبلغ ما يقرب من 300 مليون جرعة سنويا، ومعظم هذه الكمية تنتج في أوروبا، وهناك مصنعان فقط يعملان في الولايات المتحدة. ففي شتاء 2005، عندما أدى التلوث إلى إغلاق مصنع شيرون في بريطانيا، بذلت معامل سانوفيك باستور وميداميون كل ما في وسعها لتدارك الوضع عبر خطوط الإنتاج الأمريكية، فأنتجت 61 مليون جرعة. وتوصي مراكز مكافحة الأمراض والوقاية منها باللقاح السنوي ضد الإنفلونزا لكل المجموعات



لقاحات الإنفلونزا التي تعتمد في إنتاجها على البيض تعتبر عنق الزجاجة الذي يؤخر إنتاج اللقاح المضاد للوباء لفترة قد تزيد على ستة أشهر، وهذا سيؤدي إلى نقص إمدادات اللقاح، ومن ثم تأخرها عن تلبية الاحتياجات.

(*) Vaccines: Who Will Get Them–and How Quickly?

(1) immunization

(2) reverse genetics

(3) seed virus

(4) antigen

المهددة بخطر كبير في الولايات المتحدة والتي تضم 185 مليون شخص.

وتواصل الشركة سانوفي العمل في خطتها طوال أيام السنة الـ 365 وبطاقتها القصوى، وفي الشهر 7 وضعت حجر الأساس لمصنع جديد في پنسلڤانيا سيضاعف من إنتاجها عام 2009. يقول ‹J. T. ماثيوز› [المسؤول عن مجموعة العمل المعنية بالتخطيط لمواجهة الوباء في الشركة سانوفي]: «وحتى عند مواجهة حالة طارئة، سيكون من العسير جدا تقصير هذه الفترة من الوقت.» ويتابع القول بأنه سيتعذر تحويل المصانع المعدة لإنتاج الأنواع الأخرى من اللقاحات لتنتج لقاحات الإنفلونزا.

وقد أثار ‹B. ورتلي› [من البرنامج الوطني للتمنيع في مراكز مكافحة الأمراض والوقاية منها] قضية أخرى، فالوباء في غالب الأحيان يتوافق مع الموسم المعتاد للإنفلونزا. وقد لاحظ أنه لن يكون بمقدور المصانع التي تنتج حُقَن لقاحات الإنفلونزا إنتاج أكثر من سلالة واحدة في الوقت نفسه. ويوافق المتحدث باسم الشركة سانوفي ‹L. لافندا› على ذلك قائلا: «قد نواجه اختيارا مبالغا فيه، وسيكون علينا أن نوقف إنتاج اللقاحات السنوية لكي نبدأ إنتاج اللقاحات اللازمة لمواجهة الوباء العالمي.»

وتهدف الشركة ميدايميون لزيادة إنتاجها من اللقاحات التي تؤخذ عن طريق الاستنشاق لتصبح 40 مليون جرعة بحلول عام 2007 بعد أن كانت مليوني جرعة تقريبا، إلا أن ما يخشى منه ‹كلين› هو أن توزيع اللقاح الحي المشتق من السلالة المسببة للوباء قد يكون مصدر خطر كبيرا؛ إذ ستكون هناك فرصة ضئيلة، كما يقول، يستطيع فيها الڤيروس تبادل الجينات مع ڤيروسات الإنفلونزا «الطبيعية» لدى شخص ما، وهذا يولد سلالة أكثر شراسة وخطورة من سلالات الإنفلونزا.

ولأن التأخير والنقص في إنتاج اللقاحات المضادة للوباء لا يمكن تجنبهما، فإن من أهم الوظائف في الخطط الوطنية لمواجهة الوباء تتمثل بدفع القادة السياسيين لاتخاذ قرارات مسبقة حول تحديد المجموعة الأولى من الناس التي ستكون هي أول من يتلقى اللقاحات، وحول الكيفية التي تعلل فيها الحكومة هذا التوزيع وتنفذه. لقد أوصت اللجنة الاستشارية الوطنية المَعْنِية باللقاحات في الولايات المتحدة في الشهر 2005/7 أن أولى الحُقَن التي

الأساليب التقنية الجديدة لإنتاج اللقاحات(*)

يعكف الباحثون في المؤسسات الصناعية والأكاديمية على اختبار الطرق الجديدة للتمنيع بهدف توسعة نطاق الإمدادات المحدودة باللقاحات لتغطي أعدادا متزايدة من الناس. وهم منهمكون أيضا في ابتكار أساليب تقنية يمكن من خلالها زيادة إنتاج اللقاحات بسرعة أثناء الطوارئ.

الأسلوب التقني	المنافع	الجاهزية	الشركات
الحقن بين طبقات الجلد (في الأدمة).	إعطاء لقاح الإنفلونزا في الجلد بدلا من العضلات يقلل من الجرعة المطلوبة في كل حقنة بمقدار الخُمس.	أوضحت الدراسات السريرية (الإكلينيكية) أنها مبشرة، ولكن يوجد نقص في عدد الأطباء والممرضات المدربين عليها.	لوماي، كلاسكو سميث كلاين.
مواد (أدوية) مُساعِفة(1).	يمكن لهذه المواد أن تزيد من الاستجابة المناعية، وهذا يقلل من كمية البروتين اللازمة في كل حقنة.	تم منح ترخيص لأحد هذه اللقاحات في أوروبا، فيما يتواصل تطوير لقاحات أخرى على نحو فعال.	لوماي، شيرون، كلاسكو سميث كلاين.
اللقاحات المُسْتَنْبَتة في الخلايا.	تكثير ڤيروس الإنفلونزا واستنباته في مفاعلات حيوية مملوءة بالخلايا بدلا من تكثيرها في البيض، وهذا يحقق زيادة سريعة في الإنتاج عند اندلاع وباء الإنفلونزا.	تجري الشركة شيرون دراسة واسعة النطاق في أوروبا، فيما تعمل الشركتان سانوفي باستور وكروسيل على ابتكار طريقة خاصة للولايات المتحدة.	شيرون، باكستر، سانوفي باستور، كروسيل، بروتين سيانس.
اللقاحات باستخدام الدنا DNA.	يمكن حقن جسيمات الذهب المطلية بدنا الڤيروس داخل الجلد بوساطة النفث الهوائي. ويمكن معه أن يبدأ إنتاج هذه اللقاحات المضادة للسلالة المستجدة خلال أسابيع بدلا من شهور، كما أن المخزون قد يحفظ لسنوات من دون تجميد.	لم يثبت حتى الآن فيما إذا كان أي لقاح دناوي فعالا لدى البشر. وتتوقع الشركة بودرميد الحصول على نتائج دراسة ضيقة النطاق حول اللقاح الدناوي المضاد للسلالة H5N1 في نهاية عام 2006.	باودرميد، ڤيكال.
اللقاحات الشاملة لجميع السلالات.	إنتاج لقاح عن طريق تعزيز المناعة ضد البروتين الڤيروسي الذي لا يتحور، بحيث يمكن لهذا اللقاح أن يقمع جميع سلالات الإنفلونزا. وهكذا يمكن للمخزون من اللقاح أن يصد الوباء على نحو موثوق.	خلال الصيف الماضي بدأت الأوساط الأكاديمية بتطوير لقاح مضاد للمستضد M2e.	اكامبيس

ستنتج من خطوط الإنتاج ستعطى لكبار القادة الحكوميين وللعاملين في مرافق الرعاية الصحية، وللعاملين في مجال لقاحات الإنفلونزا وفي مصانع الأدوية، وللحوامل وللرضع، وللفئات المعرضة للمخاطر والتي تم تحديدها من قَبل وتعتبر من المجموعات ذات الأولوية في أخذ حقنة سنوية من لقاح الإنفلونزا، مثل الشيوخ والمصابين، وتشتمل هذه الشريحة المرتفعة الأولوية على 46 مليونا من الأمريكيين.

ويقول ‹وورتلي› [وهو أحد القائمين على التخطيط في مراكز مكافحة الأمراض والوقاية منها] «هناك شعور قوي بأنه ينبغي لنا القول وفي وقت مسبق أن الحكومة سوف تشتري كمية مناسبة من اللقاحات لتضمن التوزيع العادل لها.» ومع أن أستراليا وبريطانيا وفرنسا والحكومات الأوروبية الأخرى تعمل على عقد صفقات مسبقة مع الشركات المنتجة للقاحات للتزود بها، فإن الولايات المتحدة لم تقم بذلك حتى الآن.

ومن حيث المبدأ، يمكن للحكومات أن تتجاوز هذه الصعوبات في الإمدادات بتخزين اللقاح، ويصبح لزاما عليها تحديث ما لديها من مخزون باستمرار عندما تهدد سلالات جديدة للإنفلونزا بالانتشار على الصعيد العالمي، وحتى إذا ما فعلت الحكومات ذلك فإن الاحتياطي قد يتخلف بمقدار خطوة أو خطوتين عن المرض، ومن هنا يقول ‹ورتلي›: «من المنطقي امتلاك لقاح مضاد للڤيروس H5N1، لأنه حتى إذا لم يكن متوافقا توافقا تاما مع الڤيروس المحتمل، فقد يقدم درجة ما من الحماية.» وذلك إذا ما تسبب الڤيروس H5N1 في إحداث الوباء.

ومن هذا المنطلق وزع المعهد الوطني للحساسية (الأرجية) والأمراض المعدية في الولايات المتحدة ڤيروسات بَذْرية من النمط H5N1 أعدها علماء من مستشفى سانت

(*) New Vaccine Technologies
(1) adjuvants

وباء الإنفلونزا يضرب الولايات المتحدة[*]

نموذج محاكاة حاسوبية أعده باحثون من المختبرات الوطنية في لوس الاموس وجامعة إيموري يُظهر الموجة الأولى من الانتشار السريع للوباء من دون استخدام لقاح أو معالجة مضادة للفيروسات لإبطاء ذلك الانتشار. وتمثل الألوان عدد حالات الإنفلونزا المترافقة بالأعراض لكل 1000 من الناس (*انظر سلم الألوان*). فبدءا من 40 حالة عدوى في اليوم الأول، تبلغ الحالات في سائر أنحاء البلاد أشدها في اليوم 60 تقريبا، ثم تنحسر الموجة بعد أربعة أشهر مخلِّفة وراءها 33% من السكان مرضى. ويواصل العلماء أيضا إعداد نماذج أخرى للتداخلات المحتملة بالأدوية واللقاحات للتأكد فيما إذا كان من الممكن تجنب تحديد السفر أو الحجر الصحي للمسافرين أو غيرهما من الاستراتيجيات الأخرى المريكة.

جود لأبحاث الأطفال في ممفيس، سبق أن عزلت من إحدى الضحايا الفيتناميين؛ ثم قدمت الخدمات الصحية والبشرية طلبا إلى الشركة سانوفي لإنتاج مليوني جرعة من اللقاح المضاد لتلك السلالة. وقد بدأت الأبحاث على البشر في الشهر 3 يقول <S. A. فاوسي> [مدير المعهد الوطني للحساسية والأمراض المعدية]: «تشير النتائج الأولية للدراسات السريرية (الإكلينيكية) إلى أن اللقاح قد يكون واقيا. ويحاول <M. ليفيت> [وزير الخدمات الصحية والبشرية] التفاوض للحصول على 20 مليون جرعة.» (وقد أعلن <ليفيت> في الشهر 2005/9 أن الخدمات الصحية والبشرية قد زادت عدد جرعات اللقاحات المضادة للفيروس H5N1 التي طلبتها لتصل قيمتها إلى 100 مليون دولار). ووفقا لما ذهب إليه <كلين> فإن الشركات المنتجة للقاحات في الوقت الحاضر قد لا تستطيع تقديم كمية تزيد على 15-20 مليون جرعة كل عام إلى مخزون الولايات المتحدة.

ومع ذلك قد تكون هذه الأرقام مفرطة في التفاؤل. فقد اختبرت الدراسة أربعة تراكيز مختلفة من المستضدات: فالحقنة النمطية السنوية المضادة للإنفلونزا تتضمن 45 ميكروغراما من البروتين وتغطي ثلاث سلالات من فيروسات الإنفلونزا. ويتوقع المسؤولون أن إعطاء 30 ميكروغراما من المستضد الخاص بالسلالة H5N1 على جرعتين، تتضمن كل جرعة منها 15 ميكروغراما، سيكون كافيا لتحريض المناعة، إلاّ أن النتائج الأولية للدراسة تشير إلى أن لقاح شخص واحد قد يحتاج إلى 180 ميكروغراما من المستضد.

وهكذا فإن طلب 20 مليون جرعة معتادة قد لا يكفي أكثر من 3.3 مليون شخص من اللقاح المضاد للفيروس H5N1، بل إن العدد الحقيقي لهؤلاء الأشخاص قد يكون أقل من ذلك، لأن السلالة H5 ضعيفة النمو في البيض، وهذا يؤدي إلى أن كل تشغيلة[1] ستنتج كمية أقل من المعتاد من المستضد الفعال. ولكن هذه الصورة الكالحة قد تكتسب قدرا من الإشراق عندما يقوم المعهد الوطني للحساسية والأمراض المعدية بتحليل النتائج النهائية للدراسة، فقد يكون من المحتمل أيضا أن يتسع نطاق الإمدادات باللقاحات باستخدام المواد المُساعفة (وهي مواد تضاف إلى اللقاحات لتزيد من الاستجابة المناعية التي تحرضها) أو باتباع أساليب جديدة للتمنيع مثل حَقْن اللقاح في الجلد بدلا من حَقْنه في العضل.

ومن الواضح أن تخزين كميات كبيرة من اللقاحات قبل حلول الوباء أمر ليس مستحيلا؛ ولكنه يشكل تحديا: فصلاحية اللقاحات تنتهي بعد مرور سنوات قليلة. وإذا أخذنا بالحسبان معدل الإنتاج في الوقت الحاضر فإن من المتعذر تخزين كمية تصل إلى 228 مليون جرعة، وهي الكمية اللازمة لتغطية احتياجات المجموعات الثلاث الأكثر أولوية واحتياجًا للقاحات، وذلك بغض النظر عما يقرب من 600 مليون جرعة قد تمسّ الحاجة إليها لتلقيح جميع الناس في الولايات المتحدة، كما تواجه الأمم الأخرى نفس أوجه القصور هذه.

ولعل السبب الأولي الذي يحد من القدرات إلى هذه الدرجة، كما يقول <ماثيو>، هو أن القائمين على صناعة اللقاحات بدوافع اقتصادية يهدفون فقط إلى تلبية الطلب على التمنيع السنوي عندما يتخذون قراراتهم حول أعمالهم، ويتابع بقوله: «فنحن لا نرى في الوباء نفسه فرصة للتسويق.»

ولاستثارة اهتمام القائمين على تصنيع اللقاحات، يقرّ <فوسي> بأنه: «لابد من تقديم عدد من الحوافز، بدءا من ضمان الشراء وتسديد الاستحقاقات المالية وانتهاء بتوفير هوامش ربح أفضل.» ويتوقع <كلين> حلولا طويلة الأمد قد تأتي من أساليب تقنية جديدة تجعل اللقاحات أكثر نجاعة، بجرعات أقل بكثير، وذات تأثير في جميع سلالات الإنفلونزا على نحو متعادل.

(*) Pandemic Flu Hits the U.S.
(1) batch

الاستجابة السريعة: هل يمكن وقف الوباء؟(*)

وحديثا وضعت منظمة الصحة العالمية (في عام 1999) تعريفا بسيطا حول متى يبدأ وباء الإنفلونزا، وهو أنه: يبدأ حين نتأكد من انتشار فيروس جديد بين الناس في بلد واحد على الأقل، إذ منذ ذلك الوقت يصبح إيقاف الانتشار الذي يضاهي في سرعته البرق أمرا بعيد الاحتمال، أو يبدو على الأقل كذلك. ولكن الإصدارات الأخيرة من الدلائل الإرشادية لمنظمة الصحة العالمية، وبسبب التقدم المحرز في ترصد حالة المرض وتوافر الأدوية المضادة للفيروسات، أقرت بوجود فترة زمنية في ذروة الوباء. وعندما يكون الفيروس على أهبة الاستعداد للانفجار في العالم، يمكن عندها صد الفيروس وكبح جماحه، بل والقضاء عليه.

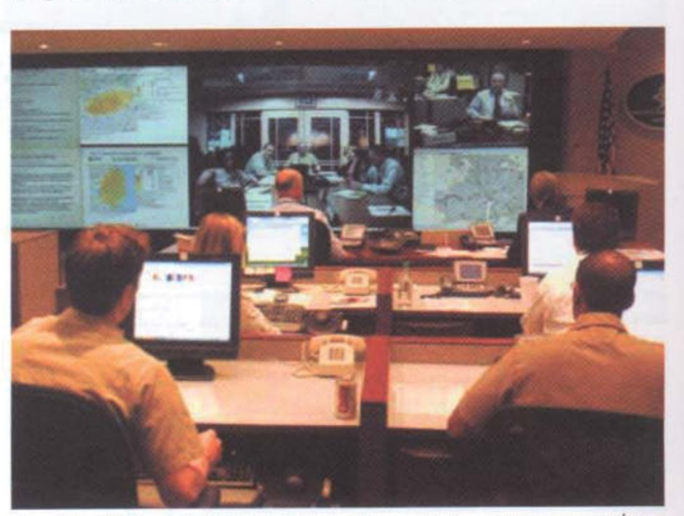
وتشير النماذج الحاسوبية والحس السليم إلى أن الجهود التي تبذل لاحتواء الوباء ينبغي أن تتمتع بالسرعة والكفاءة الخارقتين؛ إذ تنتشر الإنفلونزا بسرعة غير عادية لما تتسم به من فترة حضانة قصيرة لا تتعدى يومين بعد انتقال العدوى بالفيروس، إذ سرعان ما تنتشر الفيروسات التي تستطيع نقل العدوى للآخرين مع بدء ظهور الأعراض. وقد يصبح بعض الناس مصدرا للعدوى قبل ظهور الأعراض لديهم بيوم واحد. وعلى العكس من ذلك، فقد أمضى المصابون بالالتهاب الرئوي الحاد الوخيم (السارس) الناجم عن **الفيروسات المكللة** coronavirus والذين أصيبوا بالفيروس الوافد من الصين عام 2003 عشرة أيام قبل أن يصبحوا مصدرا للعدوى، وهو وقت يكفي لإعطاء العاملين الصحيين الفرصة لتعقب الفيروس وعزل المخالطين للمصابين به قبل أن ينتقل المرض عن طريقهم أيضا.

ويقول الخبراء في الصحة العامة إن اقتفاء المخالطين وعزلهم لن يكون كافيا لاحتواء الإنفلونزا، إلاّ أن نتائج المحاكاة الحاسوبية التي نشرت في الشهر 2005/8 أوضحت أنه إذا أضيفت إلى التدخلات 30 مليون جرعة من الأدوية المضادة للفيروسات ووجد لقاح ضعيف النجاعة، عندئذ تتوافر فرصة للحيلولة دون وقوع وباء محتمل.

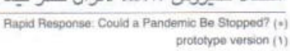
ولابد أن تكون الظروف مثالية تقريبا. فبإعداد نموذج لمجموعة من السكان الذين يبلغ عددهم 85 مليون، وبالاستناد إلى الوقائع الديموغرافية والجغرافية لتايلند، وجد <M. N. فيرگسون> [الذي يعمل في كلية أمبريال بلندن] أن العاملين الصحيين، في غالب الأحيان، يستغرقون 30 يوما بحد أقصى من بدء انتشار الفيروس من شخص لآخر حتى يعطوا الأدوية المضادة للفيروسات سواء للمعالجة أو للوقاية في جميع الأمكنة التي تندلع فيها الفاشيات.

ولكن العاملين في منظمة الصحة العالمية بعد أن رأوا نتائج هذا النموذج في مطلع هذا العام (2005) أعربوا عن شكوكهم بأن يكون الترصد في بعض أجزاء آسيا موثوقًا بدرجة تكفي لاكتشاف الوباء المتنامي في الوقت المناسب. «أما من الناحية العملية، فقد يستغرق التأكد من بعض حالات العدوى البشرية بالفيروس H5N1 ما يزيد على عشرين يوما، وهذا لا يعطي فرصة من الوقت سوى نافذة ضئيلة يمكن معها تقديم الأدوية للمناطق النائية وتوزيعها على عدد يقرب من مليون شخص،» وذلك طبقا للتحذير الذي أصدره في الشهر 2005/4 <شتور> [كبير الموظفين المَعْنيين بالإنفلونزا في منظمة الصحة العالمية] في تجمع للخبراء في العاصمة واشنطن.

ويمكن **للتمنيع الجزئي** partial immunity للسكان أن يكسبنا المزيد من الوقت، حسب ما يرى <M. I. لونجيني جونير> [من جامعة إيموري] الذي وضع أيضا نموذجا للتدخلات بالأدوية المضادة للفيروسات في مجتمع صغير مستندا في ذلك إلى البيانات الديموغرافية التايلندية، حيث حصل على نتائج شبيهة بما حصل عليه <فيرگسون>. ولكن <لونجيني> أضاف سيناريوهات يتم وفقها تلقيح الناس في وقت مسبق، وقد افترض أن اللقاح المتوافر باستخدام الطور التقليدي(1) الذي سبق لبعض البلدان أن أعدته للفيروس H5N1، لن يتوافق توافقا كاملا مع السلالة الجديدة للفيروس؛ وهكذا فإنه لن يُنقص من أعداد المصابين إلا بنسبة تقل عن 30%. ومع ذلك، فإن ما أحرز من نقص في قابلية الإصابة بالعدوى لدى الملقحين في نموذج المحاكاة هذا سيحول دون حدوث العدوى بسلالات أشد خطورة وأشد قدرة على إحداث العدوى. ولذلك فقد صرح <فاوسي> [مدير المعهد الوطني للصحة الحيوانية] أن الولايات المتحدة والأمم الأخرى التي لديها اللقاح المضاد للفيروس H5N1 لاتزال تفكر فيما إذا



سوف يُستخدم مركز القيادة في وزارة الصحة والخدمات البشرية بواشنطن العاصمة لاقتفاء انتشار وباء الإنفلونزا العالمي. ومن هذا الموقع ستقوم الوزارة بالتنسيق بين مختلف أقسامها بما فيها مراكز مكافحة الأمراض والوقاية منها والمعهد الوطني للصحة. كما ستقوم بتبادل المعلومات مع الوكالات في الولايات ومع الوكالات الحكومية الفدرالية، مثل وزارة الأمن الوطني.



(*) Rapid Response: Could a Pandemic Be Stopped?
(1) prototype version



مرضى بإنفلونزا الطيور في أحد مستشفيات هانوي بڤيتنام في الشهر 2005/3، حيث كان أحد الرجال (*في اليسار*) الذي يبلغ 21 من عمره مع أخته التي تبلغ 14 عاما في حالة حرجة. إن الكثير من الوفيات والإصابات الشديدة نتيجة للعدوى بالڤيروس H5N1 كانت بين الأطفال والشباب الذين كانوا أصحاء قبل إصابتهم بالعدوى.

كانت ستوجه هذا اللقاح للوقاية في المنطقة التي يحتمل أن تندلع فيها السلالة المحورة بشريا من الڤيروس، حتى لو كان ذلك يعني أن كمية أقل من اللقاح ستبقى لمواطنيهم. ويقول «لونجيني»: «سنعمل ذلك إذا كنا نتمتع بالمهارة الكافية.»

واستنادا إلى نماذج مستمدة من نمط انتشار الأوبئة السابقة، يتوقع الخبراء أنه ما إن تتسرب سلالة جديدة حتى تنتشر في سائر أرجاء المعمورة على موجتين أو ثلاث موجات، تستمر كل موجة منها شهورا عدة (*انظر الإطار في الصفحة 10*)، ولكنها تبلغ ذروتها في كل مجتمع على حدة بعد خمسة أسابيع من وصولها إليه. وقد تفصل بين كل موجة والتي تليها فترة تطول حتى تبلغ فصلا كاملا، فإذا هاجمت الموجة الأولى المجتمع في وقت الربيع فقد لا تهاجم الموجة التي تتلوها قبل نهاية الصيف أو بداية الخريف. وبسبب أن الكميات المناسبة من اللقاحات التي تصمم خصيصا للتوافق مع السلالة المسببة للوباء لن تكون متوافرة لدى الشركات المصنعة إلا بعد مضي فترة ستة أشهر، فإن القائمين على التخطيط في الحكومات سيعانون القلق على نحو خاص من اقتحام الموجة الأولى.

وما إن يستشري الوباء في أرجاء المعمورة حتى تختلف الاستجابة على الصعيد المحلي في كل بلد، فكل بلد سيتخذ اختيارات ترتكز على موارده وأولوياته السياسية بقدر ما ترتكز على الاعتبارات العلمية. ويعد الاستخدام الوقائي للأدوية المضادة للڤيروسات أحد الاختيارات المتاحة أمام عدد قليل من البلدان التي يمكنها شراء المخزون الكافي من تلك الأدوية، ومع هذا فهو اختيار غير عملي إلى حد بعيد. وفي الوقت الحاضر لا تمتلك أي دولة كمية كافية من الأدوية لحماية عدد كبير من أبنائها على مدار شهور عديدة. وإضافة إلى ذلك، فإن مثل هذا الاستخدام الطويل الأمد لم يكن يوما ما موضوعا للدراسة والاختبار، وقد يسبب مشكلات يصعب التنبؤ بها. ولهذه الأسباب، فقد أعلنت المملكة المتحدة في الشهر 2005/7 أنها ستستخدم ما لديها من مخزون معدّ لمواجهة الوباء على نحو رئيسي لمعالجة المرضى بدلا من وقاية غير المصابين.

الأدوية الجديدة لمعالجة الإنفلونزا(*)

تعمل الأدوية المضادة لفيروسات الإنفلونزا المتوافرة هذه الأيام، على تعطيل بعض البروتينات النوعية الموجودة على سطح الفيروسات. وهذه البروتينات هي إما M2 (الأدوية التي تسمى مركبات الأمانيتيدين) أو النورامينيداز (الزاناميفير والأوسيليتاميفير). وحاليا يتم ابتكار أدوية حديثة هي المثبطات المحسَّنة لإنزيم النورامينيداز. كما توجد أساليب جديدة تشمل إحصار[1] دخول الفيروس إلى الخلايا العائلة (المضيفة) أو عرقلة وظائفه داخل الخلية.

طريقة التأثير	الأدوية	المنافع	الجاهزية
تثبيط بروتين النورامينيداز الذي يستخدمه الفيروس لينفصل من خلية ما حتى يعدي خلية أخرى.	بيراميفير (الشركة بيوكريست للمستحضرات الصيدلانية)، CS-8958 (الشركة بيوتارسانكيو).	مثبطات إنزيم النورامينيداز لها تأثيرات جانبية أقل. كما أن احتمال ظهور مقاومة من الفيروس للدواء أقل مما تحدثه المركبات الأمانتيدية القديمة. إن المستحضر CS-8958 له مفعول طويل الأمد و يرتبط داخل الرئتين لفترة قد تصل إلى أسبوع.	تصل أقراص البيراميفير إلى الرئتين على نحو غير كاف في التجارب السريرية. وقد تُجرى عام 2006 تجارب لإعطائه عن طريق الحقن بالوريد. وقد استُكملت التجارب الرئيسية حول سلامة المستحضر CS-8958.
تثبيط التصاق الفيروس بالخلية.	فلوداز (Nex Bio).	يحصر الفولداز مستقبلات حمض السياليك الذي يستخدمه فيروس الإنفلونزا للدخول إلى الخلايا العائلة، ولذلك من المنتظر أن يكون هذا الدواء على نفس الدرجة من الفعالية بالنسبة إلى جميع سلالات فيروس الإنفلونزا.	يخطط للقيام بتجارب سريرية عام 2006.
تنبيه آلية تداخل الرنا RNA.	G00101 (الشركة كالينيا) - من دون اسم (الشركة النينلام للمستحضرات الصيدلانية)	يستخدم المستحضر G001498 الدنا DNA لتفعيل الآليات الدفاعية الأصيلة داخل الخلايا، ووضع علامات على الفيروسات تمهيدا لتدميرها. وقد أثبت المستحضر G001498 نجاعته ضد فيروسات إنفلونزا الطيور من نوعي H5 و H7 على الفئران.	يتوقع القيام بتجارب سريرية خلال 18 شهرا.
استخدام بروتين صنعي من الدنا DNA لإحصار الجينات الفيروسية.	نيوجين (الشركة أفي بيوفارما).	ترتبط خيوط صنعية من الدنا DNA بالرنا الفيروسي، الذي يحمل تعليمات للخلية لبناء المزيد من نسخ الفيروسات. ومن المتوقع أن تكون هذه الاستراتيجية فعالة تجاه معظم سلالات الإنفلونزا.	يخطط للقيام بتجارب على الحيوانات عام 2006.

ولاتزال الولايات المتحدة وكندا وعدد آخر من البلدان تواصل العمل في إعداد أولوياتها حول من سيتلقى الأدوية المضادة للفيروسات، ومتى سيتم ذلك.

ولن يكون أمام معظم البلدان أي خيار؛ إلا ما تطلق عليه منظمة الصحة العالمية



يُصنع مستحضر الأوسيلتاميفير الذي يباع باسم تاميفلو Tamiflu، وفق عملية معقدة ومتعددة المراحل تستغرق ما يقرب من السنة. وستحتاج تلبية الطلبات إلى تخزين هذا الدواء سنوات عدة، وسيصعب إنتاج أدوية صيدلانية جنيسة generic لمواجهة حالة طارئة.

بالتداخلات غير المعتمدة على الأدوية واللقاحات، حيث ينبغي أن يكون خط الدفاع الرئيسي. ومع أن مدى فعالية مثل هذه الإجراءات لم يكن موضوعا للأبحاث المُعمَّقة من قبل، فقد جمعت منظمة الصحة العالمية الخبراء المَعْنيين بالإنفلونزا في جنيف في الشهر 2004/3 في محاولة لتعرف الأنشطة التي تستند إلى البراهين الطبية، وقد استنتج الخبراء، على سبيل المثال، أن فحص المسافرين القادمين لكشف الإنفلونزا لديهم «ينقصه الدليل الطبي المؤكد على فوائده الصحية.» ومع ذلك أقروا بإمكانية إجراء ذلك في البلدان لتعزيز الثقة لدى الناس. وينطبق مثل ذلك على الشكوك التي انتابتهم حول تحري الحُمّى (ارتفاع درجة الحرارة) لدى الناس وفتح خطوط هاتفية ساخنة للإبلاغ عن الحُمّى أو فتح عيادات للحُمّى وفيما إذا كان لأي من ذلك دور مهم في إبطاء انتشار المرض أو لا.

وأوصى الخبراء باستخدام مرضى الإنفلونزا والعاملين الصحيين المُعَرَّضين لمخالطتهم للأقنعة الجراحية (الكمّامات)[2]، فيما يوفر غسل الأيدي للأصحّاء حماية أفضل من تلك التي يوفرها ارتداء الكمّامات، لاحتمال أن يتعرض الناس للفيروس في بيوتهم وأثناء عملهم وبملامستهم سطوح الأشياء الملوثة ومنها سطح الكمّامة نفسها.

أما الإجراءات التقليدية للمحافظة على مسافات فاصلة كافية بين الناس في المجتمع (الفصل الاجتماعي)[3]، مثل حظر التجمعات العامة أو إغلاق طرق العبور ووسائل النقل الجماعية، فستتحدَّد تبعا لما سيقوله المختصون بالوبائيات أثناء تقدم الوباء. فإذا كان الأطفال، على سبيل المثال، أكثر عرضة للإصابة بالفيروس من غيرهم، كما كانت عليه الحال في كلٍ من عامي 1957 و 1968، أو إذا وُجِد أن الأطفال سيكونون مصدرا لا يُستهان به لانتشار الفيروس في المجتمع، فقد تأخذ الحكومات إغلاق المدارس بعين الاعتبار.

(*) New Flu Drugs
(1) blocking
(2) masks
(3) social distancing

المعالجة: ما الذي يمكن عمله للمرضى؟(*)

إذا ما أصيب بليونان من الناس بالمرض فهل سيموت منهم عشرة ملايين؟ أم مئة مليون؟ ويبذل المختصون في الصحة العامة كل ما بوسعهم في جميع أنحاء العالم لمعرفة مقدار الخسائر البشرية إذا ما انتشر وباء الإنفلونزا في المستقبل. وستختلف أعداد الإصابات اختلافا كبيرا، إذ لا يعرف أحد قبل أن يندلع الوباء فيما إذا كانت السلالة الفيروسية التي ستسبب هذا الوباء ضعيفة مثل السلالة الفيروسية التي سببت وباء عام 1968 والتي وصفها بعض الباحثين في الإنفلونزا بأنها «خائرة القوى»، أم إن تلك السلالة متوسطة الشدة مثل السلالة الفيروسية التي سببت وباء عام 1957، أم إن تلك السلالة الفيروسية شديدة الفتك مثل السلالة الفيروسية المسببة «للإنفلونزا الخطيرة» التي ضربت العالم عام 1918.

وفي الوقت الحالي يتلمّس القائمون على التخطيط طريقهم باتباع **قواعد تقديرية عملية** rules of thumb. فبسبب عدم امتلاك أي انسان للمناعة تجاه السلالة الجديدة أو المرتقبة من الفيروس المسبب للإنفلونزا، فإنهم يتوقعون إصابة نصف عدد السكان بالعدوى الفيروسية. وتبعا لشدة الفيروس وضراوته، سيصبح ثلث عدد هؤلاء أو ثلثاهم مرضى بالفعل، وهذا يؤدي إلى أن معدل الهجمات السريرية سيراوح بين 15 و 35 في المئة من مجمل السكان، وهذا دفع الكثير من الحكومات لبناء خططها واستعداداتها وفقا للمتوسط بين التقديرين، أي نحو 25% من مجمل السكان في الدولة.

ليس ثمة حكومة على استعداد الآن. ففي الولايات المتحدة، حيث تكون الولايات هي المسؤولة على نحو رئيسي عن صحة سكانها، يفترض مجلس أمناء الصحة الأمريكية (TFAH) أن فيروسا وبائيا فاتكا سوف يسبب وقوع ربع عدد السكان في براثن المرض، وهو ما يعني أن 4.7 مليون أمريكي سيحتاجون إلى إدخالهم المستشفى لتلقي العلاج. وقد لاحظت مؤسسة الصحة الأمريكية أن الولايات المتحدة في الوقت الحالي لديها أقل من مليون سرير في المستشفيات المجهزة بالعاملين الصحيين.

أما بالنسبة إلى العاملين الصحيين الذين يعتبرون خط الدفاع الأول ضد المرض، فإن شدة الوباء ستقتصر بالنسبة إليهم على عدد المرضى وعلى أنماط الأمراض التي يعانونها، وهذا يعتمد بدوره على كل من الخصائص الأصلية للفيروس وعلى مدى قابلية المجموعات السكانية المختلفة للإصابة به، وهذا ما تعتقده <J. تايلور> [القائمة على التخطيط لمواجهة الأوبئة في مؤسسة ماريلاند]. وبناء على هذا فإن ما يمكن أن يطلق عليه الوباء الخفيف الوطأة، على سبيل المثال، قد يشابه الإنفلونزا الفصلية مع ازدياد كبير في عدد المصابين.

وبالنسبة إلى الإنفلونزا العادية السنوية فإن الناس الذين سيصابون بأشد حالاتها هم الذين يعانون مضاعفات الأمراض المزمنة، والصغار جدا في العمر، والمتقدمون جدا في العمر، وغيرهم ممن لديه جهاز مناعي ضعيف. ولعل أهم أسباب الوفيات المرتبطة بهذه الإنفلونزا الموسمية هو الالتهاب الرئوي الناجم عن البكتيرات التي تغزو الرئتين بعد أن تستنضب الإنفلونزا القدرات الدفاعية للجسم، وليس الالتهاب الرئوي الناجم عن فيروس الإنفلونزا نفسه. وقد اكتشف الباحثون في الوكالة الصحية الوطنية الهولندية، من خلال بناء نماذج لوباء ذات مواصفات مشابهة، أنه يمكن إنقاص الإدخال إلى المستشفيات بمقدار 31 في المئة بمجرد تلقيح المجموعات المعتادة المُعَرَّضة للأخطار لتمنيعها في وقت مسبق ضد الالتهاب الرئوي البكتيري.

وعلى العكس من ذلك، فإن سلالة الفيروس المسبب لوباء عام 1918 كانت أكثر فتكا بالشباب في الثلاثينات والعشرينات من أعمارهم، ممن كانوا ـ قبل إصابتهم بالفيروس ـ أصحاء ويتمتعون بجهاز مناعة قوي وفعال. وقد اكتشف الباحثون الذين درسوا ذلك الفيروس أنه يثبط الاستجابات المناعية المبكرة، مثل إطلاق الجسم للإنترفيرون، الذي يهيئ في الحالة السوية الخلايا لمقاومة الهجمة، ولكن في الوقت نفسه فإن الفيروس يحرض على رد فعل مناعي مفرط يعرف **بعاصفة السيتوكين** cytokine storm، التي تستدعي خلالها جزيئات مولِّدة للعلامات يُطلَق عليها اسم السيتوكينات، تؤدي إلى قيام الخلايا المناعية باعتداء شرس على الرئتين.

وقد حاول الأطباء الذين واجهوا الظاهرة نفسها لدى مرضى متلازمة الالتهاب الرئوي الحاد الوخيم (السارس) قمع هذه العاصفة بإعطاء الإنترفيرون والمركبات الكورتيكوستيرويدية المثبطة للسيتوكين. وكما كتب أحد الأطباء في هونگ كونگ، فإنه إذا تعذر إيقاف هذا الشلال المدمر من الأحداث في الوقت المناسب فإن الالتهاب سيتفاقم في رئتي المريض، حتى تغصّان بالنسج الميتة، ويصبح من الضروري اللجوء إلى التهوية بالضغط لإيصال الأكسجين بكمية كافية إلى مجرى الدم.

وليس لدينا من الأسباب ما يدفعنا للأمل بأن الفيروس H5N1 بشكله الحالي سيؤدي إلى وباء خفيف الوطأة، وذلك وفقا لـ<G.F. هايدن> [المختص بالفيروسات في جامعة فيرجينيا والذي يقدم المشورة إلى منظمة الصحة العالمية حول معالجة ضحايا إنفلونزا الطيور]. وهو يؤكد أنه «ما لم تتغير قدرة الفيروس على إحداث المرض تغيرا شديدا، فإن سلالة قاتلة ستداهمنا.» وقد عانى الكثير من المصابين بالفيروس H5N1 الالتهابَ الرئوي في مناطق عميقة من الرئتين، ونجم ذلك عن الفيروس نفسه، كما يقول <هايدن>. وفي بعض الحالات أشارت بعض فحوص الدم إلى وجود نشاط غير معتاد في السيتوكين، ولكن الفيروس نفسه قد لا يكون ثابتا على نهج واحد؛ ففي بعض الحالات يبدو أن الفيروس يتكاثر في الأمعاء، وهذا يؤدي إلى إسهال شديد. كما يعتقد أن الفيروس قد أصاب الدماغ لدى طفلين فيتناميين ماتا بسبب التهاب الدماغ من دون ظهور أي أعراض تنفسية.

تعد الأدوية المضادة للفيروسات والتي تكافح الفيروس على نحو مباشر، العلاج المفضل؛ إلا أن الكثير من المصابين

(*) Treatment: What Can Be Done for the Sick?

بالفيروس H5N1 يصلون إلى عيادات الأطباء متأخرين، حين تفوت فرصة تأثير الدواء في تحقيق نتائج فعالة. كما أن الطفرة من سلالة الفيروس التي تصيب معظم ضحاياها من البشر مقاومة أيضا للأصناف القديمة من الأدوية المضادة للفيروسات والتي تسمى مركبات **الأمانتيدين** amantidines، وقد يعود ذلك إلى أن تلك الأدوية قد أعطيت للدواجن في بعض أرجاء آسيا. وتشير التجارب المختبرية إلى أن الفيروس H5N1 لايزال عرضة للتأثر بالأصناف الجديدة من الأدوية المضادة للفيروسات التي تسمى **مثبطات إنزيم النورامينيداز** neuraminedas inhibitors والتي تشتمل على منتجَيْن هما **أوسيلتاميفير** Oseltamivir و**زاناميفير** Zanamivir، وهما متوافران حاليا في الأسواق تحت اسمين تجاريين هما **تاميفلو** Tamifln و**ريلينزا** Relenza. ويتوافر تاميفلو على شكل أقراص فيما يتوافر ريلينزا على شكل مسحوق يُستنشَق بوساطة مِنْشَقة. وينبغي أخذ أحد الدواءين خلال فترة 48 ساعة من ظهور الأعراض حتى يكون الدواء ناجعا ضد الإنفلونزا البشرية الفصلية.

وقد أجري الاختبار الرسمي الوحيد حول الأدوية المضادة للعدوى بالفيروس H5N1 على الفئران. وقد أعلن <G. R. وبستر> [من مستشفى أبحاث الأطفال في سانت جود] في الشهر 2005/7 أن الجرعة المكافئة عند الفئران لجرعة الإنسان السوي، وهي قرصان من مستحضر التاميفلو كل يوم، أدت في النهاية إلى قَمْع الفيروس، إلا أن الفئران احتاجت إلى معالجة لفترة ثمانية أيام بدلا من الفترة المعتادة التي تمتد لخمسة أيام. و تواصل منظمة الصحة العالمية تنظيم الدراسات حول الضحايا الذين سيصابون في المستقبل بالعدوى بالفيروس H5N1 لتحديد الكمية اللازمة لدى الإنسان.

وحتى عند إعطاء الجرعة المعتادة، فإن معالجة ربع عدد سكان الولايات المتحدة سيتطلب كمية كبيرة من مستحضر التاميفلو أو المستحضرات المكافئة له، وهي كمية تزيد على 22 مليون دورة (كورس) علاجية، تخطط وزارة الصحة والخدمات البشرية الأمريكية لتخزينها بحلول الشهر 2005/9. وقد اقترحت إحدى اللجان الاستشارية أن يُخزن 40 مليون «دورة» علاجية على الأقل (400 مليون قرص). كما أشارت اللجنة إلى أن 90 مليون دورة علاجية ستكفي لتغطية ثلث عدد السكان، وإلى أن 130 مليون دورة علاجية ستكفي، إضافة إلى ما سبق، لوقاية العاملين الصحيين وغيرهم من العاملين في الخدمات الأساسية.

ويأمل <هايدن> أن يُنتج قبل حدوث الوباء دواء ثالث من مثبطات إنزيم النورامينيداز ويسمى **بيراميفير** Peramivir، قد يحظى بالموافقة على إعطائه حقنا بالوريد لمرضى الإنفلونزا الذين يعالجون داخل المستشفيات. أما الأدوية الطويلة الأمد المثبطة لإنزيم النورامينيداز فقد تصبح يوما مثالية للتخزين، إذ إن جرعة واحدة قد تكفي للمعالجة أو تقدم حماية تكفي لأسابيع.

هذه الأدوية الإضافية، مثل العديد من الأدوية الأحدث لمعالجة الإنفلونزا (*انظر الإطار في الصفحة 13*) يجب أن تجتاز الاختبارات السريرية (الإكلينيكية) قبل أن يصبح بالإمكان الاعتماد عليها لمكافحة الوباء. ويود الباحثون دراسة المعالجات الأخرى التي تؤثر على نحو مباشر في استجابة الجهاز المناعي لدى المصابين بالإنفلونزا. وسيحتاج العاملون الصحيون إلى جميع ما يمكنهم الحصول عليه من الأسلحة إذا كان عليهم مواجهة مرض مميت مثل العدوى بالفيروس H5N1.

ويبلغ معدل الوفيات بين ضحايا العدوى بالفيروس H5N1 نحو 50% تقريبا. ويحذر <هايدن> بأنه حتى عندما تقل معدلات الوفيات إلى 5% بسبب ضعف فوعة الفيروس على حساب سرعة انتشاره بين الناس، «فإنه سيبقى سببا لمعدل وفيات يزيد بمقدار الضعف على معدل الوفيات التي حدثت عام 1918، وذلك على الرغم من توافر الأساليب التقنية، مثل المضادات الحيوية وأجهزة التنفس الصنعية؛» ثم يعبر عن القلق الذي ينتاب معظم الخبراء في الإنفلونزا في هذه اللحظات المصيرية للصحة العامة، فيحذر من «أننا سنتخلف عن المنحنى البياني كثيرا بالنسبة إلى وضع الخطط موضع التنفيذ وتوافر مختلف الطرق العلاجية.»

وللمرة الأولى سيكون بوسع العالم رؤية تطور وباء عالمي للإنفلونزا وهو يلوح في الأفق، ولديه أدوات كثيرة قد تخفف من وطأة تأثيرات هذا الوباء بمجرد حدوثها. وإذا كان هناك بعض الأسرار التي لاتزال تواجه العلماء وهم يراقبون لأول مرة تطور الفيروس إلى وباء عالمي محتمل، فإن الماضي يؤكد أمرا واحدا وهو أنه حتى وإن لم يتحول الفيروس المرعب H5N1 إلى صورة وبائية يمكنه معها الانتشار بسهولة بين الناس، فإن بعض فيروسات الإنفلونزا الأخرى ستصبح كذلك. وكلما كانت دفاعاتنا أقوى استطاعت مواجهة العاصفة عندما تهب. ومما يبعث في نفوسنا الشعور بالرضا هو أنه «لدينا عدو واحد فقط،» كما تقول <J. بيرنك> [مديرة مراكز مكافحة الأمراض والوقاية منها]. ■

المؤلف

W. Wayt Gibbs - Christine Soares

<**كيبس**> *كبير الكتاب في ساينتفيك أمريكان، أما* <**سواريس**> *فهي كاتبة ومحررة.*

مراجع للاستزادة

The Great Influenza. Revised edition. John M. Barry. Penguin Books, 2005.

John R. LaMontagne Memorial Symposium on Pandemic Influenza Research: Meeting Proceedings. Institute of Medicine. National Academies Press, 2005.

WHO Global Influenza Preparedness Plan. WHO Department of Communicable Disease Surveillance and Response Global Influenza Program, 2005. **www.who.int/csr/resources/publications/influenza/WHO_CDS_CSR_GIP_2005_5/en/index.html**

Pandemic Influenza Web site of the U.S. Department of Health and Human Services, National Vaccine Program Office: **www.hhs.gov/nvpo/pandemics/index.html**

Scientific American, November 2005

زيادة الوقت المتاح في إيقاف مؤقت لمظاهر الحياة(*)

لطالما استحوذ على فكر كتاب الأدب الخيالي إمكانية الحفاظ على الحياة البشرية في حالات التوقف المؤقت لمظاهر الحياة(1). ففي روايات الخيال يمكن أن «ينام» أبطال القصة قرونا عديدة في رحلاتهم بين النجوم أو خلال تعرضهم لطامّات طبيعية كبرى، ليستيقظوا من دون أن يعتريهم أي تأثر بمرور الزمن. وتبعث هذه القصص قدرا كبيرا من المتعة في النفوس، غير أن تحقيقها بيولوجيا أمر بعيد المنال. وفي الواقع، لا يبدو أن بمقدورنا كبشر أن نغير من سرعة تقدمنا في مراحل الحياة: فليس بوسعنا إيقاف الفعالية المندفعة لخلايانا، كما ليس باستطاعتنا إيقاف تنفسنا فترة تتجاوز دقائق قليلة من دون أن يتسبب ذلك في تخريب شديد للأعضاء الرئيسية للجسم.

إلا أن الطبيعة تزخر بكائنات تستطيع توقيف عملياتها الحياتية الأساسية ثم العودة إليها. وقد يدوم هذا التوقيف في بعض الأمثلة سنوات عدة. ويصف العلماء هذه الظواهر بمصطلحات مختلفة مثل: **الهمود** quiescence و**الفتور** torpor و**السُّبات الشتوي** hibernation، وتمثل جميعها درجات مختلفة من وقف مؤقت لمظاهر الحياة يتسم بخفض شديد في كل من إنتاج الطاقة (**الاستقلاب**(2) metabolism) واستهلاك الطاقة (النشاط الخلوي). وفضلا عن ذلك، تتمتع تلك الكائنات وهي تمر بهذه الحالة بمقاومة غير مألوفة للظروف البيئية القاسية، مثل درجات الحرارة المفرطة والحرمان من الأكسجين، بل حتى الإصابات البدنية.

ولنترك سيناريوهات الخيال العلمي جانبا؛ فإن أمكن وضع الجسم البشري في مثل هذه الحالة (حالة وقف مؤقت لمظاهر الحياة)، فإن ذلك سيعود على الطب بفوائد هائلة. فعلى سبيل المثال، يمكن لبعض الأعضاء البشرية التي يراد استخدامها للاغتراس، مثل القلب والرئة، أن تبقى حية خارج الجسم مدة



(*) BUYING TIME IN SUSPENDED ANIMATION

(1) suspended animation: تعبير اصطلاحي يعني إيقافا مؤقتا لمظاهر الحياة.

(2) أو الأيض. (التحرير)

إن القدرة على إيقاف مؤقت لفعاليات الجسم البشري، قد تسمح بوقاية ضحايا الإصابات البالغة أو بحفظ الأعضاء المتبرع بها المعدّة للغرس. ترى هل تكمن فينا بالفعل القدرة على إيقاف ساعاتنا البيولوجية وإعادة تشغيلها من جديد؟

<M. B. روث> ـ <T. نيستل>

لا تتجاوز ست ساعات؛ فيما يمكن لأعضاء أخرى، مثل البنكرياس والكلية، أن تبقى مدة لا تزيد على يوم واحد. ومن هنا كان نجاح نقل الأعضاء يعتمد على السرعة، وهو ما قد يعني في بعض الحالات ضرورة التساهل في التحقق من توافق النُّسُج بسبب قصر الوقت اللازم لغرس (زرع) العضو قبل تلفه. وفي الوقت الذي يتم فيه بنجاح كل عام غرس عشرات الألوف من الأعضاء في الولايات المتحدة وحدها، فإن الاستعجال فيه قد يؤدي إلى أخطاء كان من الممكن تجنبها لو توافر المزيد من الوقت.

لمظاهر الحياة قد يقي نُسجهم من التلف في الوقت الذي يعمل فيه الأطباء على ترميم إصاباتهم.

وقد أوضحت الدراسات التي أجريت مؤخرا في مختبرنا بمركز <F. هتشنسون> لأبحاث السرطان في سياتل، إلى جانب ما أجراه باحثون آخرون، أن من الممكن ـ عند الطلب ـ تحريض حالات تُماثل السبات الشتوي لدى الحيوانات التي لا تدخل فيها بشكل طبيعي. وإلى جانب ذلك، يبدو أن هذه الحيوانات تصبح محميّة من التأثيرات المعهودة لنقص الدم، كالحرمان من الأكسجين، عندما تكون في حالتها المعلقة. وتظهر هذه النتائج احتمالا مثيرا، ألا وهو إمكانية حدوث تعليق



فإذا أمكن وضع هذه الأعضاء الثمينة في حالة حياة معلقة، فقد تواصل حيويتها بعد ذلك أياما أو حتى أسابيع. ويمكن أيضا لفرق الطوارئ الطبية الاستفادة من هذا الأسلوب لكسب الكثير من الوقت لصالح ضحايا الرضوح الشديدة والحالات الحرجة؛ إذ إن وضع هؤلاء المرضى في حالة وقف مؤقت

مظاهر الحياة لدى البشر أيضا. وفي الحقيقة تشير الطرق التي استخدمها فريقنا لتحريض الحياة المعلقة في حيوانات المختبر وفي بعض النسج البشرية إلى أن هذه القدرة قد تكون كامنة في الكثير من الكائنات عن طريق آلية متجذرة فيها منذ الأيام الأولى للحياة الميكروبية على وجه الأرض.

التغلب على الساعة(*)



تصبح الأعضاء عرضة للتلف الإقفاري(1) حالما ينقطع عنها الإمداد الدموي من المتبرع. وحتى بعد تسريب محاليل حافظة ومواد كيميائية باردة في هذه الأعضاء وتبريدها الشديد أثناء نقلها، فإنها تفشل في أداء وظائفها إذا مر وقت طويل قبل غرسها. وتعرف مدة العيوشية viability التي تتيح البقيا بأنها «الزمن المقبول طبيا للإقفار البارد» acceptable cold ischemic time. ووفقا لمعلومات «الشبكة المتحدة للتشارك في الأعضاء»، فإن 3216 عضوا من الأعضاء التي تم إنعاشها في السنة الماضية (2004) لم تستعمل. ويرد ذلك إلى أن هذه الأعضاء لم تكن مطابقة لنسج المتلقي أو إلى أنها لم تنقل إليه في الوقت المناسب.

البقاء للأبطأ(**)

إن المخلوقات المتنوعة المعروفة بقدرتها على توقيف بعض أو معظم فعالياتها الخلوية تفعل ذلك استجابة لشدّات بيئية، وتبقي تلك الفعاليات «متوقفة» حتى تزول تلك الشدّات. فلو أخذنا مثالا على ذلك بذور النباتات في تطورها، فإنها تستطيع البقاء هاجعة في التربة سنوات حتى تصبح الظروف المحيطة بها مشجعة على الإنبات. وشبيه بذلك ما يحدث لدى أجنة نوع من الإربيان(2) الذي يعيش في المياه المالحة وهو **الأرتميات الفرنسية** Artemia franciscana، التي اعتاد الناس على تسميتها قرود البحر(3). فهي تستطيع العيش مدة تزيد على خمس سنوات من دون أي طعام أو ماء أو أكسجين، وذلك بدخولها في حالة شبيهة بحالة البذور تدعى الهمود، وتكون خلاياها خلال ذلك متوقفة الفعالية عمليا. وما إن يتعرض ذلك النوع من الإربيان ثانية للبيئة الطبيعية حتى يعاود التطور الطبيعي نحو البلوغ.

ويمكن أن تتفاوت الحالات الشبيهة بالحياة المعلقة من حالات تكون فيها الحياة متوقفة تماما - بمعنى توقف كافة أشكال الحركة التي يمكن مراقبتها بالمجهر داخل الخلايا - وبين حالات تتواصل فيها الفعاليات الخلوية ولكن بمعدل شديد البطء. وهناك على سبيل المثال، تشكيلة من الحيوانات البالغة تستطيع خفض حاجاتها من الهواء، ومن الغذاء خفضا شديدا فترات طويلة أثناء السبات الشتوي، فلا نكاد نشعر بتنفسها أو بنظم قلبها، وتنخفض درجة حرارة أجسادها قريبا من درجة التجمد، ولا تستهلك خلاياها إلا قدرا ضئيلا جدا من الطاقة. إن السناجيب الأرضية وعشرات من أنواع الحيوانات الثديية تقضي أشهر الشتاء الباردة كل عام في هذه الحالة؛ فيما تأوي حيوانات أخرى، مثل بعض ضروب الضفادع والسمندل والأسماك، خلال أشهر الصيف الحارة إلى حالة مشابهة تسمى التصييف(4).

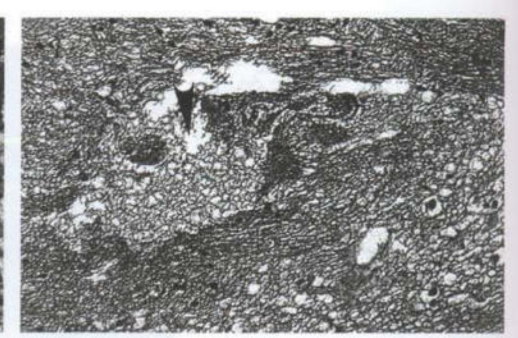
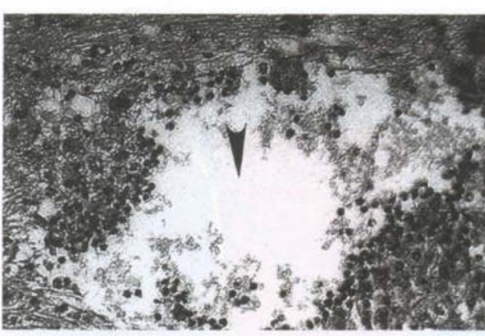
إن القدرة على البقيا حتى مع الحرمان مدة طويلة من الأكسجين، وهي قدرة تكتسبها هذه الكائنات عن طريق خفض كبير لاحتياجاتها إلى الطاقة وإنتاجها لها، تمثل نقيضا صارخا للحالة السوية لدى البشر. فنحن البشر نعتمد اعتمادا تاما على الإمداد المستمر بالأكسجين، لأن خلايانا تحتاج إليه لمواصلة إنتاجها من الطاقة، وعندما تنخفض مستويات الأكسجين في نُسجنا إلى ما دون حد معين تعاني الخلايا تلفا ناجما عن **إقفار الدم** ischemic damage يؤدي إلى موت النسج. فالإقفار إذًا، هو السبب الدفين غالبا للوفيات التي تَحدث إثر النوبات (الهجمات) القلبية، والسكتات الدماغية، أو الرضوح البدنية الأخرى التي تحرم النسج من الدم، ومن ثم من الأكسجين ولو لم يستمر ذلك الحرمان إلا زمنا قصيرا.

ولم يستكمل بعد فهم بعض الأحداث الجزيئية التي تسبب التلف الإقفاري(1)؛ إلا أن العلماء متفقون بالتأكيد على أن ثمة دورا مهما يؤديه فقدان الخلايا قدرتها على توفير الطاقة اللازمة للقيام بالأنشطة الأساسية الضرورية للإعاشة. فمعظم الطاقة التي تستهلكها الخلايا تنتج من جزيئات ثلاثي فُسْفات الأدينوزين (ATP) التي تُصنع بشكل رئيسي في الميتوكندرات (المتقدرات) الخلوية، وبعملية تعتمد على الأكسجين تسمى الفسفرة التأكسدية. وعندما يهبط مستوى الأكسجين تحت مجال محدد تماما، تعاني الخلايا ما يسمى تلفا إقفاريا، مما يؤدي

نظرة إجمالية/ إيقاف الحياة(***)

- بوسع كائنات كثيرة أن تبطئ أو توقف على نحو طبيعي سيروراتها الحياتية، مما يحميها من الظروف البيئية التي كانت ستودي بحياتها لو لم تتمكن من ذلك، كما يحدث عند الحرمان الطويل من الأكسجين.
- يعد عدم توافر الأكسجين الكافي من الأسباب الرئيسية لتلف النُّسُج والموت للأعضاء المغروسة المأخوذة من متبرع وكذلك للذين يعانون نقصا حادا في الدم أو انسدادا يعيق إتاحته. وقد لا يكون بالإمكان دائما استئناف إمداد هذه النسج بالدم سريعا، إلاّ أن إحصار الأكسجين المتوافر كله قد يحرض أنواعا من الحيوانات على دخول حياة معلقة (إيقاف مؤقت لمظاهر الحياة) تحميها، وربما يحدث الأمر ذاته لضحايا الأذيات من البشر وللنسج البشرية أيضا.
- إن سلفيد الهدروجين هو مادة كيميائية تنتجها أجسامنا بشكل طبيعي، وهي تمنع الخلايا من استخدام الأكسجين كما تحرض حالة الحياة المعلقة (الإيقاف المؤقت لمظاهر الحياة) لدى الفئران. وقد تكون هذه المادة من المواد الطبيعية التي تنظم إنتاج الطاقة الخلوية التي يمكن استخدامها لتحريض حالة حياة معلقة واقية لدى البشر.

(*) Beating The Clock
(**) Survival of the Slowest
(***) Overview/ Putting Life on Pause
(1) ischemic damage
(2) أو الربيان (القريدس).
(3) sea monkeys
(4) estivation أو السبات الصيفي.

يُظهر النسيج الدماغي لسناجيب الأرض القطب الشمالي (القطبشمالية)[4] التأثيرات الواقية للحياة المعلقة بصورة طبيعية. فبعد مرور ثلاثة أيام على إدخال مسابير دقيقة لا يتجاوز قطرها 0.5 مليمتر في أدمغة سناجيب يدخل بعضها في حالة الإشتاء ولا يدخل فيها بعضها الآخر، جرى قتل تلك الحيوانات وفحص الجروح لديها. وتظهر صورة النُّسُج المأخوذة من الحيوانات التي تنام في الشتاء (*في اليمين*) بقاء ثقب صغير أحدثه المسبار، ولكن لا يشاهد أي تضرر آخر ولا أي دليل على وجود التهاب. أما في الحيوانات التي لم تكن تدخل حالة إشتاء، فإن عددا كبيرا من الخلايا المحيطة بالأذية الأصلية قد مات وترك ثقبا كبيرا (*في اليسار*) محاطا بخلايا مناعية مصطبغة بلون داكن.

إلى موت نسيجي[1]. وهكذا فإن هذا التلف هو غالبا ما يكون سبب الوفاة إثر إصابة قلبية أو جلطة أو إصابات جسدية[2] أخرى تحرم النسج من الدم، ومن ثم من الأكسجين، حتى إن كان ذلك لفترة قصيرة.

ومما قد يزيد التلف سوءا تواصل بعض العمليات الخلوية التي تتسم بأنها أقل حاجة إلى الطاقة، ولكنها ذات أهمية مكافئة لأهمية غيرها من العمليات؛ مما يؤدي إلى فقدان التناسق في مجمل النظام الخلوي. وأخيرا إن الفسفرة التأكسدية[3] نفسها قد تسبب الضرر للخلية أيضا. فعندما ينخفض مستوى الأكسجين إلى ما دون التركيز الأمثل له، تصبح الفسفرة التأكسدية أقل كفاءة، وقد تطلق الطاقة في وقت مبكر على شكل جزيئات تتمتع بقدرة هائلة على التفاعل، وتدعى **الجذور الحرة** free radicals. وقد اشتهرت هذه النواتج الثانوية بتأثيراتها المسببة للشيخوخة؛ إذ إنها تستطيع إتلاف الدنا والبنى الخلوية الأخرى. وفي الإقفار، يؤدي تأثير الجذور الحرة إلى المزيد من إعاقة قدرة الخلايا المحرومة من الأكسجين على أداء وظائفها الأساسية.

وهكذا يصبح الهدف الذي يسعى إليه الإنعاش القلبي الرئوي (كالتنفس الاصطناعي) وغيره من الأساليب المعهودة لتوقي التلف الإقفاري لدى ضحايا الأذيات الرضحية، هو إعادة التدفق الدموي - ومن ثم الأكسجين اللازم - بأسرع ما يمكن. وقد تبدو هذه الاستراتيجية هي الوحيدة الممكنة انطلاقا من الاعتماد الأساسي للخلايا على الأكسجين وأن ضرورة تزودها به هو من متطلباتها الأولى؛ إلاّ أننا شاهدنا لدى الحيوانات في الحالات المشابهة للحياة المعلقة نقصا شديدا في النشاط الخلوي يجعلها مقاومة بشكل واضح للإقفار أثناء الحرمان من الأكسجين، وبسبب الظن في أن تحريض حالة مشابهة لدى الناس ربما يجنبهم التلف الإقفاري أثناء فترات انخفاض مستوى الأكسجين، بدأ فريقنا العمل لفهم المزيد من الآليات التي تسمح للكائنات بكبح متطلباتها أمام الحرمان من الأكسجين.

دروس من إحدى الديدان[*]

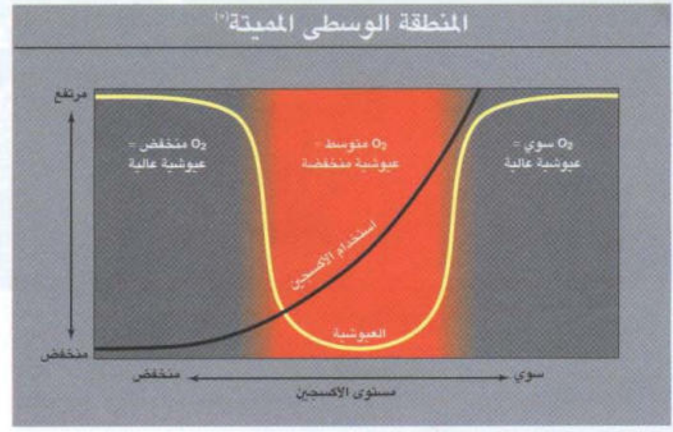
لقد أجرينا دراسات على الحياة المعلقة لدى مختلف الكائنات التي يشيع العمل عليها في المختبرات، مثل الخمائر وأجنة أسماك الزَّرَد ودودة التربة المسودة (**الربداء الرشيقة** *Caenorhabditis elegans*). إن بوسع *الربداء الرشيقة* الدخول في الحياة المعلقة في أي طور من أطوار حياتها. وتستطيع عمل ذلك عندما توضع في حالة من عوز الأكسجين - أي في وسط يقل فيه الأكسجين بشدة ويبلغ نحو 0.001 في المئة أو أقل من ذلك - ويستمر توقف مظاهر الحياة لديها مدة قد تزيد على 24 ساعة.

ولكن عندما ينقطع تدفق الدم إلى النسيج البشري، سواء أكان انقطاعه بسبب نقص الدم أم بسبب انسداد الأوعية، فإن تركيز الأكسجين قد لا ينخفض أبدا إلى مستوى يكفي لحرمان النسج حرمانا تاما منه. ويمكن لثمالة الأكسجين[5] في الدم المتبقي أو في النسج ذاتها أن تسمح بحدوث درجة منخفضة من الفسفرة التأكسدية؛ إلا أن إنتاج ثلاثي فسفات الأدينوزين سيكون غير كاف لدعم المعدلات السوية من الأنشطة الخلوية، كما سيزداد إنتاج الجذور الحرة المدمرة.

ولمحاكاة هذه الحالات من الإقفار عند البشر، يمكننا تعريض الأجنة المتطورة لدى *الربداء الرشيقة* لتركيزات أكسجين «**ناقص التأكسج**» hypoxic تتفاوت فيها نسبة الأكسجين بين 0.01 و 0.1 في المئة، وهي درجات أقل كثيرا من نسبة 21 في المئة التي تعد المعيار السوي للأكسجين في هواء الغرف، ولكنه أعلى قليلا من عوز الأكسجين. ففي حالة نقص التأكسج، لا تدخل الأجنة حالة الحياة المعلقة، كما يحدث لو كانت في حالة عوز الأكسجين، وبدلا من ذلك تحاول تلك الأجنة الاستمرار في تطورها في سلم التخلق الجنيني[6]، مما يؤدي إلى تلف واضح في الخلايا وموتها بعد 24 ساعة.

وإذا زدنا تركيز الأكسجين في الأوساط التي تحيط بالأجنة زيادة طفيفة تبلغ 0.5 في المئة، فإن هذه الأجنة تتطور بشكل سوي في سلم التخلق الجنيني، شأنها في ذلك شأن غيرها التي تحيط بها أوساط سوية الأكسجين. وهكذا فإنه على الرغم من قدرة الديدان المسودة[7] على البقاء حية مع عوز الأكسجين وذلك بدخولها في حالة حياة معلقة، فإنها تستطيع التطور بشكل طبيعي في وسط يقل فيه الأكسجين عن 0.5 في

(*) Lessons from a Worm
(1) tissue death
(2) physical traumas
(3) oxidative phosphorylation
(4) arctic ground squirrels
(5) residual oxygen
(6) embryogenesis
(7) nematodes



تحرّض مستويات تركيز الأكسجين السوية على إنتاج فعال للطاقة وعلى أداء الخلايا وظائفها في معظم الكائنات. وقد وجد المؤلفان وفرق أبحاث أخرى أن الظروف التي يسود فيها انخفاض شديد في الأكسجين (عوز الأكسجين) يمكنها أن تدفع الخلايا إلى الدخول في حالة من الحياة المعلقة تكاد فيها هذه الخلايا جميعها أن تتوقف عن إنتاج الطاقة أو استهلاكها. أما عندما تكون مستويات الأكسجين متوسطة (نقص التاكسج) فإن الخلايا تحاول الاستمرار في العمل على نحو سوي؛ إلا أن نقص الإمداد بالأكسجين يجعل أنشطتها غير فعالة، وربما مخربة لها ذاتيا. ولذا فإن من الممكن إنقاذ النسج المحرومة من الأكسجين، إما بإعادة مستويات الأكسجين فيها إلى حالتها السوية أو ربما بإحصار أي أكسجين متبقٍّ متاح لها.

المئة. ويشكل المدى الذي يحوي عشرة أضعاف من تراكيز الأكسجين ويفصل بين هذين الرقمين مدى مميتا.

وكما أوضحنا في دراستنا على *الريداء الرشيقة*، إن تحوُّل الأجنة إلى الحياة المعلقة في ظروف عوز الأكسجين ليس نتيجة منفعلة لنفاد الأكسجين لديها فحسب، بل وفقا لآلية هادفة. فقد تعرفنا جينتين تقومان بوظيفتهما أثناء عوز الأكسجين، لا أثناء نقص التاكسج، وتبدوان ضروريتين لإيقاف دورة الحياة الخلوية للأجنة. وحينما تتعرض الأجنة التي ليس لديها هاتان الجينتان لعوز الأكسجين، فإنها تخفق في إيقاف انقسام خلاياها، وتتعزل على نحو غير ملائم، وينفق الكثير منها.

تشير هذه النتائج إلى إمكان اتقاء التلف الإقفاري لا بزيادة كمية الأكسجين المتاح للخلايا فحسب، كما تتوقع الحكمة السائدة، بل تمتد إلى إنقاص كمية الأكسجين المتاح لها أيضا. وقد تتعارض هذه الفكرة مع الممارسات الطبية الشائعة في الوقت الحاضر، إلا أن لها تأثيرات قوية في مجال حفظ النسّج البشرية؛ إذ يصعب الحفاظ على أكسجة عضو معزول يراد نقله إلى إنسان آخر، كما يصعب إمداد النسج المتضررة لدى ضحايا الأذيات والإصابات بالأكسجين الكافي، ولكن قد يكون إنقاص الأكسجين المتوافر ممكنا.

ومن الطرق الفعالة لإنقاص ما يتوافر للخلايا من الأكسجين، إضافة مادة محاكية للأكسجين، وهي مادة تشبه من الناحية الفيزيائية الأكسجين من حيث المستوى الجزيئي، ومن ثم يمكنها أن ترتبط بالكثير من المواقع الخلوية التي يرتبط بها الأكسجين، ولكنها لا تسلك السلوك الكيميائي للأكسجين. فأحادي أكسيد الكربون، مثلا، قد يتنافس مع الأكسجين على الارتباط بإنزيم أكسيداز السيتوكروم c[1]، وهو أحد مكونات آلية الفسفرة التأكسدية ضمن الخلية، التي تربط الأكسجين في الأحوال العادية، ولكن لا يمكن لأحادي أكسيد الكربون المرتبط أن يستخدم في إنتاج ثلاثي فسفات الأدينوزين (ATP).

ولذا تساءلنا عما إذا كان بوسعنا وقاية أجنة *الريداء الرشيقة* من التلف الإقفاري الذي تواجهه تلك الأجنة في تركيزات متوسطة من الأكسجين، وذلك بإضافة أحادي أكسيد الكربون للوسط الناقص التاكسج المحيط بها؛ مما سيحاكي فعليا عوز الأكسجين عن طريق **إحصار** block الكمية القليلة المتبقية من الأكسجين المتاح لتلك الأجنة. وفي الحقيقة، وجدنا أن الأجنة في هذه الظروف دخلت في حالة الحياة المعلقة، وتجنبت بذلك تأثيرات الإقفار المميتة.

وبحلول عام 2003 قادتنا هذه النتائج المشجعة إلى اختبار هذا المفهوم أكثر فأكثر. وقد أوحت لنا الدراسات السابقة على الحيوانات الكبيرة والقصص المغرية عن حوادث تعرض لها ضحايا من البشر ثم بقوا على قيد الحياة بعد معاناتهم ظروف نقص الأكسجين أن الآليات التي أنقذت الديدان قد توجد أيضا في الكائنات الأخرى الأكثر تعقيدا.

ويدعم جزء كبير من الأبحاث على الحيوانات، الفكرة القائلة بأنه، حتى في الحيوانات الكبيرة، يمكن للمستويات المنخفضة من الأكسجين المتاح أن تقي من تلف النسج. فمثلا، عندما تدخل الحيوانات في مرحلة الإشتاء الطبيعي، تبدو الحالة المعلقة مصدر حماية لها من الأذيات. وقد أظهرت التجارب التي أجرتها <L .K. درو> وزملاؤها [من معهد بيولوجيا القطب الشمالي بجامعة ألاسكا في فيربانكس] أنه عند وخز أدمغة السناجيب الأرضية القطب الشمالي حين إشتائها بمسابير مجهرية، لا تموت النسج الدماغية أو أنه يموت القليل منها فحسب؛ في حين أدت الأذية ذاتها لدى السناجيب خارج أوقات إشتائها إلى ضرر نسيجي سريع (*انظر الشكل في الصفحة 19*).

وقد قادت هذه البيِّنة الكثير من الباحثين إلى محاولة تحريض حالة شبيهة بالإشتاء في الحيوانات التي لا تدخل فيه بشكل طبيعي لمعرفة إمكان تحقيق الإبطاء الخلوي ذاته على نحو آمن لا يلحق أي ضرر، وكذلك إمكان وقاية النسج مدة تكفي لإصلاح ما لحق بها من أذيات. وقد عمل الراحل <P. سافار> وزملاؤه [في جامعة پيتسبرگ] عقدين كاملين على الكلاب لإنجاز عملية غايتها زيادة الوقت المتاح في إيقاف مؤقت لظاهر الحياة. ووصف فريق <سافار> في السنة الماضية (2004) آخر التجارب التي أجراها في هذا الصدد. فلكي يتوصلوا إلى تكوين حالة حياة معلقة حرضوا توقف القلب

(*) Lethal Middle Ground
(1) cytochrome c oxidace

يبدو أن التحول إلى حياة معلقة هو آلية ذات هدف.

لدى 14 كلبا، ومن ثم جرى سحب الدم من أجسادها، مع تسريب محلول ملحي بارد فيها (حيث إن للمحلول الملحي قدرة أقل كثيرا من الدم على نقل الأكسجين)؛ مما أدى إلى إنقاص ملحوظ في كمية الأكسجين في نسج هذه الكلاب. وبعد ذلك، غابت الكلاب عن الوعي ولم تتنفس ولم تنبض قلوبها.

ثم عمل فريق <سافار> على فصل الكلاب إلى مجموعة شاهدة (ضابطة) تضم ستة كلاب ومجموعة أخرى تضم ثمانية كلاب أجري لها استئصال جراحي للطحال الذي هو عضو غير أساسي. وبعد ستين دقيقة أمضتها الكلاب في حالة حياة معلقة، جرى إنعاشها بتسريب الدم ثانية فيها. وقد بقيت الكلاب جميعها حية في الاثنتين والسبعين ساعة التالية، ولم تظهر على كافة الكلاب في المجموعة الشاهدة أية تأثيرات مرضية أو عصبية ناجمة عن قضائها وقتا في الحياة المعلقة. وكان أربعة من الكلاب الثمانية التي خضعت للجراحة في حالة سوية، ولكن ظهرت على الكلاب الأربعة الأخرى بعض مظاهر العجز العصبية.

وقد استخدم <P. ري> وزملاؤه [في جامعة الخدمات الموحدة للعلوم الصحية] أسلوبا مشابها لإحداث الحياة المعلقة لدى 15 خنزيرا يوركشاريا بالغا، ثم أجروا جراحة وعائية ترميمية لبعض هذه الحيوانات. وقد أوضح <ري> أن ذاكرة الحيوانات المختبرة جميعها وقدرتها على التعلم لم تتأثر البتة بهذه التجربة التي تعرضت لها.

وبسبب التشابه الكبير بين فيزيولوجية الكلاب والخنازير وبين فيزيولوجية البشر، فقد أثار هذا الاتجاه في الأبحاث افتراضات متحمسة لإمكان استكمال مثل هذه الإجراءات في وقت قريب، واختبارها على مرضى من البشر في غرف الطوارئ.

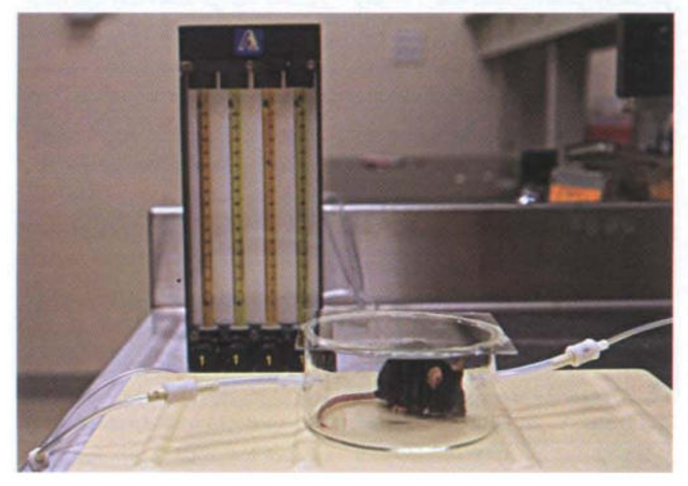
ومع أن هذه الطريقة قد تكون واعدة، فإن استنزاف الدم[1] عمل بالغ الخطورة، وله الكثير من المضاعفات. لذا، فقد بدأ فريقنا بالبحث عن طرق أقل بضعا[2] لحرمان الخلايا الحية من الأكسجين حرمانا مؤقتا. فعلى سبيل المثال، يمكن في النسج البشرية الخالية من الدم ـ كالأعضاء المستأصلة من متبرعين ـ حث الحياة المعلقة بوضع تلك الأعضاء في أوعية محكمة الإغلاق ومفرغة من الهواء مع إرواء هذه النسج بأحادي أكسيد الكربون، وهذا ما عملناه في أجنة *الريداء الرشيقة*. وعندما يصبح الأطباء على استعداد لغرس العضو، فلن يتطلب ذلك سوى تسريب الدم إليه ليستعيد الإمداد بالأكسجين. وقد قمنا في مختبرنا بتجربة هذا الأسلوب على عينات من النسج البشرية للحفاظ عليها مما يصيبها عادة من تلف. ونعتقد أن بإمكان هذا الأسلوب إطالة **عيوشية** viability الأعضاء البشرية المراد غرسها إلى حد كبير.

ويمكن أن تنعكس بسهولة تأثيرات أحادي أكسيد الكربون من الأعضاء المغروسة، مع أن هذا قد لا يكون صحيحا بالنسبة إلى الكائنات الحية التي يجول الدم في أجسامها. ولما كانت جزيئات أحادي أكسيد الكربون سترتبط ارتباطا محكما بخلايا الدم الحمر في المواضع التي يرتبط بها الأكسجين في الحالة الطبيعية، فإن استخدام هذا الغاز لدى ضحايا الرضوح سيكون متعذر التطبيق عمليا. ولذا، نقوم أيضا باختبار محاكيات بديلة للأكسجين.

وتعد معظم المواد التي اختبرناها، كأحادي أكسيد الكربون، سموما للبشر؛ لأنها تستطيع فعليا إحصار قدرة الخلايا على استخدام الأكسجين. فعلى سبيل المثال، تعد جيوب غاز سلفيد الهدروجين[3] (H_2S) خطرة ومميتة للعاملين في الكثير من المواقع الصناعية، مثل مجاري الصرف الصحي أو حقول «الغازات الحارقة» في الصناعات البتروكيميائية. ولهذا السبب حددت أبحاث السلامة المهنية الجرعات المميتة من سلفيد الهدروجين وفقا لدراسات استخدمت فيها القوارض. وكان هذا العمل نقطة انطلاق مفيدة للبدء باختبار جرعات غير مميتة من سلفيد الهدروجين على فئران المختبرات لمعرفة ما إذا كان من الممكن إحداث حالة عكوسة[4] لحياة معلقة.

وفي حجرة مغلقة، عرّضنا الفئران لجو

(1) exsanguination
(2) invasive
(3) hydrogen sulfide
(4) reversible state



استخدم <روث> وزملاؤه الحجرات الزجاجية المحكمة الإغلاق والمفرغة من الهواء، لإعطاء جرعات غير مميتة من غاز سلفيد الهدروجين (H_2S) لفئران المختبر، من الأنماط الموضحة في الصورة وذلك لمدة تصل إلى ست ساعات. وقد أظهرت التجارب أن درجة حرارة جسم الحيوان وسرعة انخفاضها ومعدل الاستقلاب لديه مرتبطة جميعا بتركيز سلفيد الهدروجين في الحجرة؛ مما يعزز نظرية الباحثين حول قدرة سلفيد الهدروجين على تحريض حالة شبيهة بالحياة المعلقة، وشبيهة بالإشتاء الطبيعي، وذلك لدى ثدييات لا تدخل في هذه الحالة على نحو طبيعي.

الحياة في الميزان(*)

بدأت أبكر أشكال الحياة الأحادية الخلية بالتطور قبل أربعة ملايين سنة، في جو كاد أن يكون خاليا من الأكسجين، ولكن ربما كان مفعما بجزيئات تتضمن الكبريت، مثل سلفيد الهدروجين (H_2S). وقد بدأت تلك الكائنات البدائية بتوليد إمداداتها من الطاقة باستخدام سلفيد الهدروجين بالطريقة نفسها التي تستخدم فيها معظم الكائنات المعاصرة الأكسجين. وفي الحقيقة يبدو أن العديد من المكونات الأساسية لسبيل الفسفرة المؤكسدة قد تطور من هذه الآلية التنفسية المبكرة المعتمدة على الكبريت. وعلى سبيل المثال، إن أكسيداز السيتوكروم c، وهو أحد المكونات في جهاز الفسفرة المؤكسدة الذي يرتبط بالأكسجين على نحو طبيعي، يشبه إلى حد كبير المركب المضاهئ في التنفس المعتمد على الكبريت، ويستطيع الارتباط بسلفيد الهدروجين.

ولكن قد يتشارك استقلاب الأكسجين واستقلاب الكبريت في أكثر من علاقة سليقة بسيطة. وحتى في هذا اليوم، فإن سلفيد الهدروجين يتم إنتاجه بشكل طبيعي في أجسامنا، الأمر الذي قد يبدو غير منطقي، انطلاقا من أن ارتباط سلفيد الهدروجين بأكسيداز السيتوكروم c سيثبط قدرة الأكسجين على الارتباط؛ ولكن من الممكن أنه ببدء الكائنات القديمة تحولها إلى التنفس الأكسجيني، فإن سلفيد الهدروجين أخذ دورا جديدا كمضاد أساسي للأكسجين.

إن جزيئي الأكسجين وسلفيد الهدروجين شديدا التفاعل فيما بينهما؛ كما أن التبادل المستمر للإلكترونات بينهما هو أمر أساسي لأشكال الحياة جميعها: فبعض الذرات تتخلى عن إلكتروناتها بسيرورة تدعى **الأكسدة** oxidation؛ في حين يأخذ بعضها الآخر الإلكترونات عن طريق «إرجاع» (تخفيض) الإمداد الذي تقدمه بعض الجسيمات الأخرى. إن سيرورات الإرجاع-الأكسدة، أو ريدكس "redox"، تكمن وراء إنتاج الطاقة في النظم البيولوجية جميعها، وتبحث معظم الكائنات عن بيئة تبلغ فيها تفاعلات الإرجاع والأكسدة أقصى درجاتها.

ففي مياه المحيط الهادئة، على سبيل المثال، حيث تمتزج الغازات المنحلة بشكل رئيسي بوساطة الانتشار، ينفذ الأكسجين، الناتج من التركيب (البناء) الضوئي لدى الكائنات التي تعيش قرب السطح، نحو العمق أثناء النهار، ويعود أثناء الليل؛ فيما يتواصل انتشار سلفيد الهدروجين من الأسفل كأحد النواتج النهائية لاستقلاب بعض الكائنات التي تعيش على المواد المتحللة في قاع المحيط. إن المعركة المستمرة بين هذين الغازين تولد دوامة غير مستقرة من الناحية الكيميائية، حيث تتم مقايضة الإلكترونات بمعدل يثير القلق. ويعد هذا **المدروج** gradient هو تماما الموقع الذي تختاره للعيش الكائنات التي تستضيف غيرها، مثل البكتيرات المهدبة المتحركة التي تدعى ***الباكيات البيضاء*** *Beggiatoa alba*، إضافة إلى العديد من أحاديات الخلية من **حقيقيات النواة** eukaryotes. ويمكن أن تصبح كثافة هذه المخلوقات كبيرة إلى درجة تشكل فيها طبقات واسعة، يمكنها أن تهبط إلى العمق أو ترتفع إلى الأعلى مع دورة الأكسجين وسلفيد الهدروجين اليومية.

وقد تشبه أجسامنا، وأجسام الكائنات الأخرى التي تتنفس الأكسجين، الطبقات الميكروبية التي تسعى إلى تحقيق التوازن بين الأكسدة والإرجاع. فنحن لا نعيش قرب مصدر لسلفيد الهدروجين، إلا أننا نصنع سلفيد الهدروجين الخاص بنا، والذي يمكّن خلايانا من البقاء في بيئة غير مستقرة من الناحية الكيميائية، وهي البيئة التي تطورنا فيها. وأظن أن قدرة سلفيد الهدروجين على الارتباط بإنزيم أكسيداز السيتوكروم c ربما سبب في جعله جزءا من برنامج خلوي داخلي يبطئ أو يوقف، على نحو طبيعي، الفسفرة التأكسدية بوجود الأكسجين. وستكون هذه الآلية الواقية مفيدة في تلك الأوقات التي تتعرض فيها الخلايا لأذية ذاتية، وهي تكافح لإنتاج الطاقة واستعمالها في ظروف ينعدم فيها الأكسجين، أو في حالات معاكسة لذلك، عندما يسبب التعرض لجرعات مفرطة من الأكسجين زيادة في عمل المولدات الخلوية، مما قد يؤدي إلى «حرق» الخلية. فإذا كان سلفيد الهدروجين محرضا طبيعيا للتوقف البيولوجي الواقي، استطعنا تفسير نجاحنا في توظيفه لتحريض حالات تشابه الإشتاء عند الطلب.

«هف ليشوكويلا» في نيومكسيكو هي إحدى المناطق العديدة المحوطة، كالثقوب البركانية في أعماق البحار، حيث لاتزال تزدهر البكتيرات المؤكسدة والكبريتية التي ربما تشبه الحياة البدئية على الأرض.

يتضمن 80 جزءا في المليون من سلفيد الهدروجين. وقد لاحظنا في ذلك المستوى نقصا مقداره ثلاثة أمثال المنتج من ثنائي أكسيد الكربون خلال الدقائق الخمس الأولى عما كان عليه قبل ذلك، كما بدأت الحرارة الداخلية للفئران بالانخفاض. وتوقفت جميع الحركات لدى هذه الحيوانات، وبدأت بفقدان الوعي. واستمر معدل الاستقلاب (الأيض) بالانخفاض طوال الساعات المتعاقبة في هذه البيئة، وذلك بقياس المنتج من ثنائي أكسيد الكربون، ليصل في النهاية إلى عشرة أمثال ما كان عليه. وقد تباطأت سرعة التنفس فانخفضت لأقل من عشر مرات في الدقيقة بعد أن كانت في الحالة الطبيعية 120 مرة في الدقيقة.

وتواصل انخفاض درجة الحرارة الداخلية عما كانت عليه في الحالة الطبيعية، وهو 37 درجة سيلزية، حتى وصلت إلى مستوى يزيد درجتين تقريبا على درجة حرارة الوسط المحيط، بغض النظر عما كانت عليه هذه الدرجة. وقد نجحنا في تخفيض متوسط درجة حرارة الجسم حتى 15 درجة سيلزية بتبريد الحجرة فقط. وفي الحيوانات التي تدخل في الإشتاء بشكل طبيعي، من الشائع أن يتماشى هذا الميل ذاته لارتفاع درجة حرارة الجسم أو انخفاضها، مع درجة حرارة الوسط المحيط.

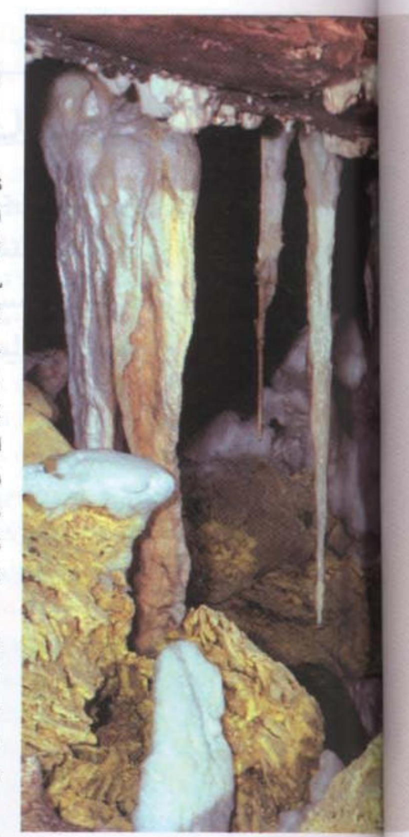
وفي الواقع، إن المعالجة بسلفيد الهدروجين قلبت فئراننا التي نجري عليها تجاربنا من حيوانات ذات دم حار إلى حيوانات ذات دم بارد؛ وهو ما يحدث بالضبط للحيوانات أثناء الإشتاء. وقد احتفظنا بالفئران في هذه الحالة مدة ست ساعات قبل أن نعيد إليها حياتها الطبيعية، ثم قمنا بمجموعة من الاختبارات لمعرفة ما إذا كانت تجربة الحياة المعلقة التي مرت بها قد تركت لديها أية تأثيرات ضارة سلوكية أو وظيفية، ولكن بدت الفئران جميعها بحالة طبيعية تماما.

من الفئران إلى الإنسان(**)

وحاليا نتابع هذا الاتجاه في الأبحاث على الحيوانات الأكبر حجما، معتقدين أن سلفيد الهدروجين قد يمثل نقطة البدء السليمة لإحداث الحالات الشبيهة بالحياة المعلقة لدى الحيوانات التي لا تدخل في حالة إشتاء في وضعها الطبيعي، بما في ذلك

Life In Balance (*)
From Mice to Men (**)

في الواقع، إن المعالجة حولت الفئران التي أجرينا عليها التجارب من حيوانات ذات دم حار إلى حيوانات ذات دم بارد.



البشر. ومع أن سلفيد الهدروجين يعد مادة سامة فإن إنتاجه يجري في أجسامنا في الحالة الطبيعية. وفي الواقع قد يكون لسلفيد الهدروجين دور فريد ومجهول في تنظيم إنتاج الطاقة الخلوية في الكائنات التي تتنفس الأكسجين؛ إذ إنه أدى يوما ما الدور الجزيئي للأكسجين في الاستقلاب وذلك عندما كان كوكبنا فتيا وكان حينها الأكسجين شحيحا (*انظر الإطار في الصفحة المقابلة*). وثمة أسئلة أخرى عديدة لاتزال بحاجة إلى إجابات قبل أن يصبح بالإمكان دراسة الحياة المعلقة المحرضة بسلفيد الهدروجين، على البشر.

ولعل أكثر تلك المعضلات المبهمة أهمية هي معرفة ما إذا كان بمقدور الإنسان دخول حالة حياة معلقة. وتشير الدلائل المقنعة بكل تأكيد إلى أن البشر يستطيعون في بعض الأحيان الصمود ساعات عديدة من دون أكسجين، ومن الأمثلة على ذلك ما حدث منذ سنوات، عندما تم إنقاذ متزلجة في الريف النرويجي بعد تعرضها لحادث تركها تحت ماء شديد البرودة كالجليد مدة تزيد على الساعة. وعندما عثر عليها فريق الإنقاذ كانت في حالة موت سريري (إكلينيكي)؛ إذ لم تكن تتنفس ولم يكن قلبها ينبض وكانت درجة حرارة جسمها 14 درجة سيلزية (57 درجة فهرنهايت). ومع أن جسمها قد تطلب تسع ساعات من الإنعاش، فإن إشفاءها كان، كما يقول أطباؤها، «ممتازا».

وقد أجرى <H. B. واليث> [من جامعة برن في سويسرا] تحليلا لاثنتين وثلاثين حالة أخرى من حالات الانخفاض الشديد في درجات حرارة تفاوتت بين 17 و 25 درجة سيلزية، كان العديد من ضحاياها قد فقدوا مظاهر الحياة عند إنقاذهم. وقد وجد <واليث> أن نحو نصف عدد هؤلاء - 15 مريضا - قد شفوا من الرضح من دون أن يصابوا بأي عجز طويل الأمد.

لا ريب في أن عدم تنفس هؤلاء المصابين قد خفض كثيرا مستويات الأكسجين في نسجهم، مما يشير إلى أن لدى جسم الإنسان في بعض الظروف مرونة تمكنه على نحو عكوس من إبطاء أو إيقاف النشاط الخلوي استجابة لشدة من الشدائد. ولكن ما هي هذه الظروف؟ وما هي المتغيرات التي تسمح لبعض الناس بالعيش في هذه الظروف فيما يموت غيرهم فيها؟ إن فهم الروابط بين الحياة المعلقة (الإيقاف المؤقت لمظاهر الحياة) بشكل طبيعي وتلك المحرضة لدى الحيوانات من جهة، والحالات غير المفسرة لدى المرضى من البشر الذين بقوا على قيد الحياة من جهة أخرى، قد يكشف عن أن ثمة قدرة كامنة فينا جميعا على الدخول في حالة وقائية من الحياة المعلقة. ■

المؤلفان

Mark B. Roth - Todd Nystul

بحثا معا الآليات الخلوية والتأثيرات الواقية للحياة المعلّقة، في الفترة التي كان فيها **نيستل** *طالب دراسات عليا في مختبر روث بمركز <F. هتشنسون> لأبحاث السرطان. وقد تناولت أعمال* **روث** *العديد من السيرورات الخلوية الأساسية، مثل كيف تنظم الخلايا حجومها، وتعبير جيناتها وتخصصها الوظيفي. أما* **نيستل** *فقد حصل على الدكتوراه من جامعة واشنطن عام 2004 ويعمل حاليا بمنحة دراسية لما بعد الدكتوراه في مؤسسة كارنيكي ببالتيمور، حيث يدرس تنظيم الخلايا الجذعية في ذبابة الفاكهة «الدروسوفيلا». إضافة إلى حفظ الأعضاء من المتبرعين ووقاية مرضى الأذيات الخطرة، يعتقد* **روث** *و* **نيستل** *أن فهم آليات الحياة المعلقة قد يلقي الضوء على كل من مقدرة الخلايا الجذعية على البقاء في حالة همود، وعلى بعض خلايا الأورام السرطانية التي تقاوم الإشعاع، لأنها موجودة في حالة مشابهة من نقص الأكسجين وانخفاض الطاقة.*

مراجع للاستزادة

Ecology and Evolution in Anoxic Worlds. Tom Fenchel and Bland J. Finlay. Oxford University Press, 1995.

Oxygen: The Molecule That Made the World. Nick Lane. Oxford University Press, 2004.

Carbon Monoxide–Induced Suspended Animation Protects against Hypoxic Damage in *Caenorhabditis elegans*. Todd G. Nystul and Mark B. Roth in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, Vol. 101, No. 24, pages 9133–9136; June 15, 2004.

Hydrogen Sulfide Induces a Suspended Animation–like State in Mice. Eric Blackstone, Mike Morrison and Mark B. Roth in *Science*, Vol. 308, page 518; April 22, 2005.

Scientific American, June 2005

عدسة العين: شفافيتها وموت خلاياها المبرمج[*]

تكشف الدراسات المجراة على عدسة العين عن أساليب الوقاية من حدوث الساد (الكتراكت)[1]، إضافة إلى كشف الغموض الذي يكتنف آلية حدوث داء ألزايمر[2] وداء پاركنسون (الرعاش) وأمراض أخرى، حيث تقوم فيها الخلايا بالانتحار.

<R. دام>

تعتبر عدسة العين النسيج الشفاف الوحيد في جسم الإنسان. وفي السنوات القليلة الماضية، أكد العلماء أن هذه الشفافية (الضرورية لتمركز الضوء) تُردُّ بنسبة كبيرة إلى القدرة الفريدة لعدسة العين على تفعيل برنامج انتحار في خلاياها؛ لكن هذا البرنامج يُوقف قبل اكتماله تماما، تاركا خلايا فارغة لكنها مستدامة[3] وبإمكانها تمرير الأشعة المرئية.

وفهمٌ أفضل للكيفية التي تصبح وتبقى وفقها خلايا عدسة العين شفافة، لا بد أن يوحي بطرق تقي من تغييم عدسة العين (الساد)، الذي يصيب أكثر من نصف عدد الأمريكيين الذين تجاوزوا الخامسة والستين من العمر. والعلاج الوحيد هو استخراج عدسة عين المريض جراحيا وزرع عدسة صنعية عوضا عنها، ولا تزال تحدث بعد ذلك بعض المضاعفات التي توجب إجراء تدخل جراحي آخر عند نسبة كبيرة من المرضى. ولما كان الساد يصيب بشكل أساسي الكهول، وهم الذين يعتبر أي تدخل جراحي عليهم مصدر قلق، فإن إيجاد طريقة لإبطاء الساد أو إيقافه أو عكسه يعتبر بحق إنجازا عظيما.

وإذا نظرنا إلى ما هو أبعد من الحفاظ على الرؤية، فإن تحسين معرفتنا بكيفية ضبط عدسة العين لانتحار الخلايا[4] بدقة بالغة، يمكن أن يكشف عن وسائل لمعالجة حالات مرضية معقدة تتصف بموت خلوي مفرط أو غير مناسب مثل داء پاركنسون وداء الزايمر، والعداوى (الأخماج) المزمنة مثل الإيدز (نقص المناعة المكتسب).

تكاد تكون (خلايا العدسة) على قيد الحياة[**]

تعتبر عدسة العين بحق أعجوبة بيولوجية بامتياز، كونها كثيفة ومرنة وشفافة في آن واحد. ففي حال إصابتها بكثافة مهما كانت ضئيلة تتحول الصور المرئية إلى صور مشوشة ومتوهجة[5]. وإذا ما تلونت عدسة العين بلون ما فسوف تمتص الضوء بذات اللون، مما يحول دون رؤيتنا لألوان محددة.

تمتلك حيوانات عديدة أعضاء شفافة، مثل أجنحة الحشرات، غير أن وجود نسيج شفاف تماما يبقى نادرا في الطبيعة و من الصعب تحقيقه. ومع أن **قرنية** cornea الإنسان شفافة، فإنها لا تعتبر نسيجا خلويا بحق إنما طبقات هلامية رقيقة من الپروتينات والسكريات. وتحتوي عدسة العين على نحو ألف طبقة من الخلايا الحية الشفافة تماما. وإضافة إلى الرؤية فإن الاستغلال الوحيد المهم للشفافية في عالم الطبيعة نجده بين بعض الأحياء في المحيطات والمياه العذبة التي تستفيد من هذه الخاصية لتختلط في بيئتها، مما يساعدها على التخفي من أعدائها المفترسة. ومع ذلك، فإن جميع هذه الحيوانات تقريبا، مثل قنديل البحر، تتصف بأنها فقط «شفافة»، وليست كاملة الشفافية.

تعتبر خاصية شفافية عدسة العين غير اعتيادية، لأن الخلايا تمتلك عضيات (بنى داخلية) مثل النواة (التي تختزن **الدنا** DNA) والميتوكندرات (المتقدرات) المولدة للطاقة وجهاز كولجي والجهاز الشبكي الإندوپلازمي، وجميعها عضيات ضرورية لتركيب الپروتينات والشحوم، ولكل من هذه البنى قرينة انكسار خاصة بها، ولذا فإن الضوء يتبعثر عند مروره عبر منطقة تتغير فيها قرينة الانكسار، مما يسبب درجة معينة من **العتامة** OpaQuenoess.

(*) العنوان الأصلي: DYING TO SEE، ويعني حرفيا «تلهف للرؤية».
(**) Barely Alive
(1) cataract تكثف في عدسة العين أو في محفظتها يؤدي إلى إعاقة وضوح الرؤية.
(2) نمط من العتَه عند المسنين.
(3) sustainable
(4) cell suicide
(5) glare

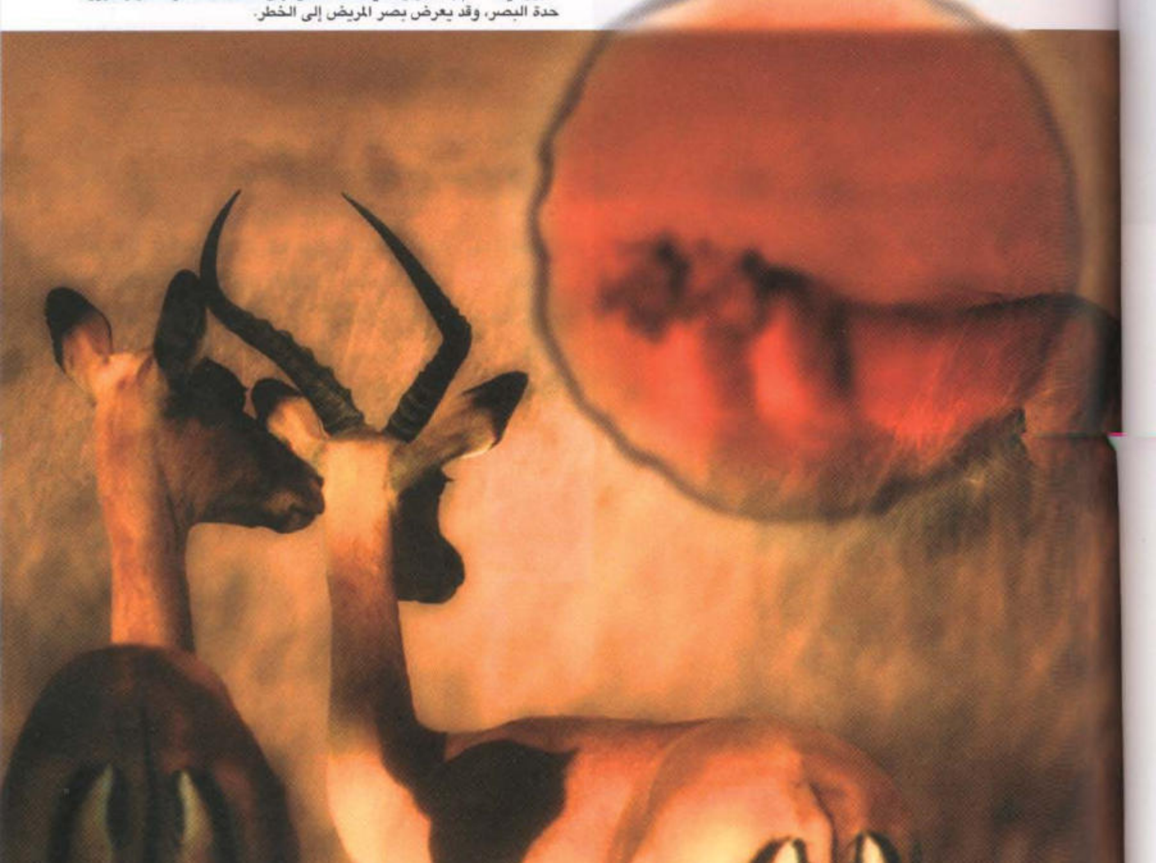
إضافة إلى ذلك فإن بعض الخلايا تمتص أطوال موجات لألوان معينة، مما يسبب رؤية اللون، فنجد هذه الميزة في جزيء **الهيم** Heme من الخضاب الموجود في كريات الدم الحمراء الذي يعطي اللون الأحمر المميز للدم. وكذلك تبدو الأعضاء والعضلات بلون أحمر نتيجة وجود تروية دموية لها. وهناك أيضا خلايا معينة موجودة في الشعر والجلد تزخر بالميلانين (القتامين) وهي جزيئات صباغية تظهر بألوان تراوح ما بين الأحمر والأسود.

ومع أن العدسة ليس لها تروية دموية ولا قتامين، فإن ذلك غير كاف لشفافيتها، إذ إن بعض الغضاريف لا تحوي القتامين ولا تروية دموية وهي بلا لون، ومع ذلك فإنها شافة، ويعلل ذلك بأنه في جميع النُسُج تقريبا تتوضع الخلايا والألياف بزوايا مختلفة مشكلة قرائن انكسار متباينة تُبَعثر الضوء حال مروره عبرها، أما العدسة فإنها مكونة من نمط واحد من الخلايا المصطفة بدقة متناهية.

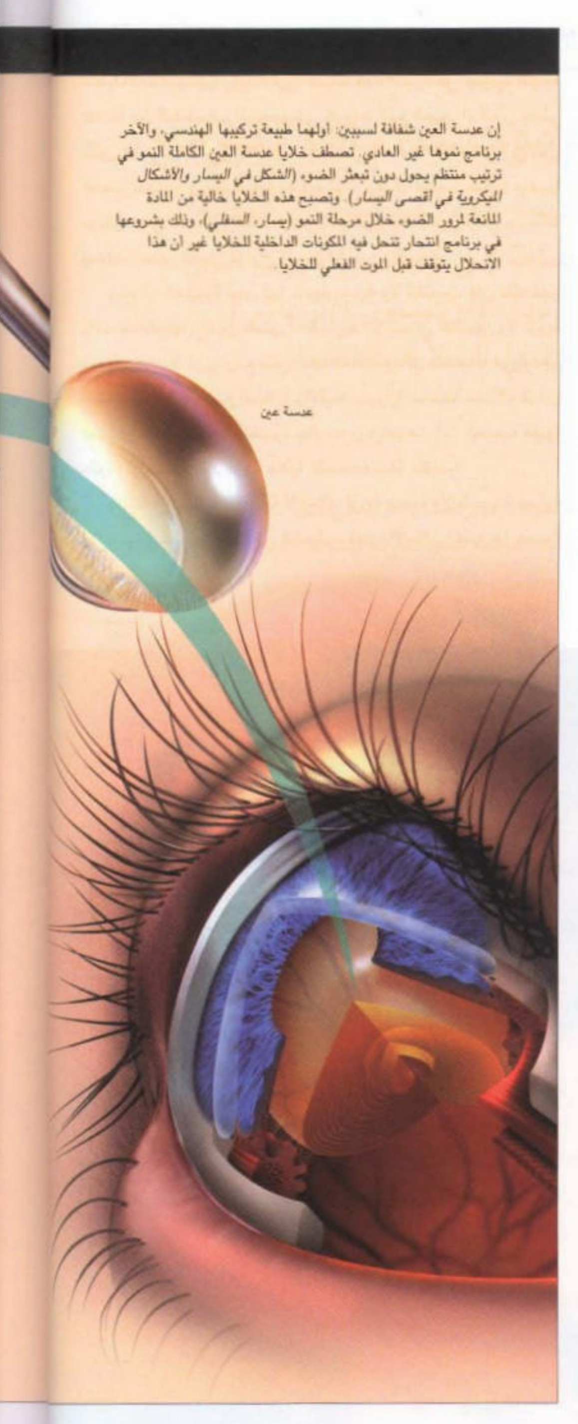
فطالما أن خلايا العدسة لا تمتلك تروية دموية ولا نسيجا ضاما ولا نسيجا عصبيا ولا حتى عضيات، فهل بالإمكان اعتبارها عضوا حيا؟ تعتمد الإجابة على كيفية تعريف «الحياة». هناك الكثير من الحيوانات الصغيرة التي تملأ المعمورة من دون أن يكون لها تروية دموية؛ وكذلك الغضروف البشري الذي لا يحظى بتروية دموية يعتبر نسيجا حيا. ففي حال كان تعريف الحياة هو وجود عملية الاستقلاب (الأيض) ضمن الخلية، فإنه يمكن اعتبار أن خلايا العدسة حية بالكاد. ومع أنه لا توجد ميتوكندرات ضمن خلايا العدسة لإنتاج الطاقة، فإن كمية محددة من القوت (الغذاء) وجزيئات أخرى تنتشر في معظم خلايا العدسة الخارجية وتعبر بشكل بطيء إلى الداخل من خلية لأخرى.

تملك خلايا العدسة اليافعة عُضَيّات عند بدء تشكلها من الخلايا الجذعية في الجنين، ولكن هذه العضيات تتحطم خلال مراحل تطورها المبكر (ويحدث الشيء نفسه للخلايا الجديدة التي تتخرب بشكل دوري أثناء مرحلة البلوغ) ولا يتبقى سوى سيتوپلازما مؤلفة من محلول كثيف من پروتينات خاصة تسمى البلّورينات (الكريستالينات). ومع أن العدسة توصف غالبا

قد يؤدي التقدم بالعمر وتأذي عدسة العين إلى تشكل الساد واصفرار الرؤية، حدة البصر، وقد يعرض بصر المريض إلى الخطر.



بأنها بلورة (كريستال)، فإنها لا تصنف كذلك بالتعبير الكيميائي، حيث إن التوضع الهندسي للأيونات (للشوارد) والجزيئات بالنسبة إلى بعضها بعضا مكرر بشكل منهجي. تعتبر العدسة بلورة حيوية، أي ذات ترتيب منتظم للخلايا، تحوي كل خلية جزيئات كبيرة (بروتينات البلّورين) التي تشكل **مجمّعات** complexes مع نظائر البلورين المرتبة بدقة فائقة. هذا البناء يجعل السيتوبلازما متجانسة بصريا، ولا تتغير قرينة الانكسار داخل الخلية أو من خلية إلى أخرى.



إن عدسة العين شفافة لسببين: أولهما طبيعة تركيبها الهندسي، والآخر برنامج نموها غير العادي. تصطف خلايا عدسة العين الكاملة النمو في ترتيب منتظم يحول دون تبعثر الضوء (*الشكل في اليسار والأشكال الميكروية في أقصى اليسار*). وتصبح هذه الخلايا خالية من المادة المانعة لمرور الضوء خلال مرحلة النمو (*يسار، السفلي*)، وذلك بشروعها في برنامج انتحار تنحل فيه المكونات الداخلية للخلايا غير أن هذا الانحلال يتوقف قبل الموت الفعلي للخلايا.

رؤية معتمة عبر الزجاج(*)

لا تتحقق شفافية العدسة من دون ثمن معين، فعلى الرغم من الحفاظ على حيوية خلايا العدسة مع بدء الانتحار المبرمج لعضياتها، فإن هذا التخرب له نتائج غير حميدة، لأنه من دون وجود النوى في الخلايا فإن زوال البرنامج الجيني الوراثي لتركيب أجزاء جديدة هو النتيجة الحتمية. ليس بإمكان الخلايا الناضجة إعادة تصنيع أو إصلاح نفسها كما هي الحال في خلايا النسيج الأخرى.

تعتبر القدرة على استبدال الأجزاء التالفة ميزة عظيمة من ميزات الأجهزة البيولوجية، إذ تمتلك الجزيئات المكونة لخلايا الإنسان نصف عمر يمتد من بضع دقائق حتى بضعة أيام. ففي خلال ما يقارب ستة أشهر يجري الاستعاضة عن نحو 90 في المئة من الجزيئات التي تكون أجسامنا بأخرى جديدة. أما خلايا العدسة فعليها أن تحافظ على وظيفتها مدى الحياة، وهذه فترة مذهلة نسبيا.

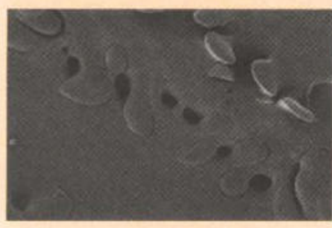
وهذا النقص في آلية الإصلاح يجعل الخلايا سريعة العطب وغير قادرة على تحمل بعض الضغوط. فمثلا، يسبب نقص الإماهة الشديد ترسب بروتينات البلورين منبهة خلاياها لأن تتجمع في كتلة مسببة الساد. وتُغيّر هذه الكتلة من قرينة الانكسار الخاصة مخَلّفة بقعة مشوشة في الساحة البصرية للإنسان. وقد يؤدي نقص الإماهة الشديد ولو لبضعة أسابيع فقط إلى بدء تشكل الساد.

وحتى في حال غياب مثل هذه الحالات فإن عدم القدرة على الإصلاح يعني أنه على المدى الطويل ستتراكم الأذيات الصغيرة مؤدية إلى النتيجة نفسها. إن التعرض المنتظم للجزيئات الشديدة الارتكاس (مثل الجذور غير المؤكسدة الحرة أو الأشعة فوق البنفسجية) أو إلى سنوات من ارتفاع سكر الدم بسبب الداء السكري سوف يؤدي في النهاية إلى حدوث الساد عند العديد من الأشخاص، ومن ثم إلى الكثير من عمليات الساد.

(*) Seeing through a Glass, Dimly

تقتل عدسة العين نفسها لتحقق وضوح الرؤية[*]



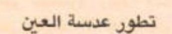




تصطف الطبقات الخلوية للعدسة بشكل متواز (*العلوي*)، بحيث يمر الضوء عبرها شاقوليا، كما في عدسة عين البقرة المعروضة في الصورة. وفي إحدى هذه الطبقات (*السفلي*) تتداخل الخلايا المتجاورة فيما بينها مثل قطع لعبة الصور المتقطعة لتحول دون تشكل فراغات عندما تغير العدسة لشكلها أثناء عملية المطابقة. هذا وإن توضع الخلايا بشكل طبقات، إضافة إلى تداخل الخلايا فيما بينها، يُمكّنان الضوء من العبور عبر الخلايا دون انتثاره.

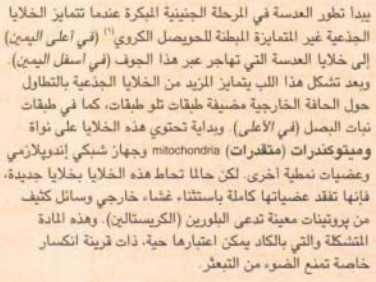
(*) The Lens: Killing Itself For Clearity

(1) spherical vesicle



تطور عدسة العين

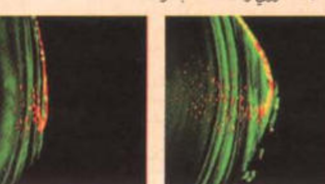
يبدأ تطور العدسة في المرحلة الجنينية المبكرة عندما تتمايز الخلايا الجذعية غير المتمايزة المبطنة للحويصل الكروي[1] (*في أعلى اليمين*) إلى خلايا العدسة التي تهاجر عبر هذا الجوف (*في أسفل اليمين*). وبعد تشكل هذا اللب بتمايز المزيد من الخلايا الجذعية بالتطاول حول الحافة الخارجية مضيفة طبقات تلو طبقات، كما في طبقات نبات البصل (*في الأعلى*). وبداية تحتوي هذه الخلايا على نواة **وميتوكندرات (متقدرات)** mitochondria وجهاز شبكي إندوبلازمي وعضيات نمطية أخرى. لكن حالما تحاط هذه الخلايا بخلايا جديدة، فإنها تفقد عضياتها كاملة باستثناء غشاء خارجي وسائل كثيف من بروتينات معينة تدعى البلورين (الكريستالين). وهذه المادة المتشكلة والتي بالكاد يمكن اعتبارها حية، ذات قرينة انكسار خاصة تمنع الضوء من التبعثر.

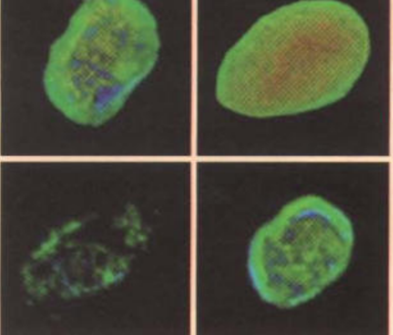


وبالإمكان مشاهدة مظاهر هذه السيرورة في مراحل تطور العدسة (*في أسفل اليمين*). وفي العدسة المكتملة النمو تقريبا لدى الفأر (*في أسفل اليمين*) تتعدد الخلايا الجديدة عبر المنطقة الاستوائية للعدسة، وتنتقل للداخل، في حين تأتي خلايا جديدة لتغطية تلك الخلايا القديمة. وتهاجر نوى الخلايا (*اللون الأحمر*) إلى الأسفل، وتبقى لفترة وجيزة لكنها تتحلل وهي تندفن.

وتتحلل نواة العدسة النامية خلال أيام (*في اليسار*)، حيث يتحلل الغلاف النووي والدنا DNA بالترادف.





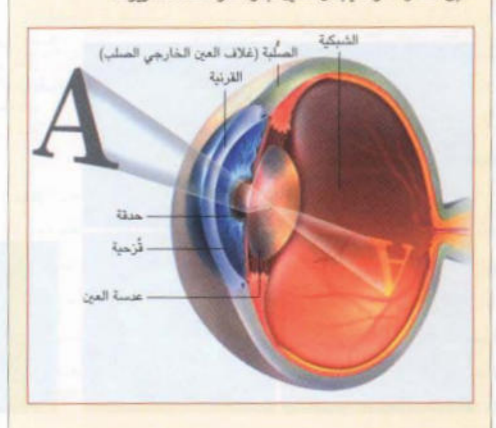


لماذا قد تبدو ألوان العيون مختلفة عند التقاط الصور[*]

تشرح لنا آلية تركيز العين للضوء (الشكل) فقط كيف نرى، لكنها لا تشرح لنا لماذا تبدو العين عسلية أو بنية أو زرقاء أو حتى حمراء عند التقاط الصور. فالقزحية تحجب الضوء الوارد إلى العين تاركة فتحة صغيرة (الحدقة) ليمر عبرها الضوء، ثم ليعبر العدسة ويتمركز على الشبكية. ترتد الأشعة التي تسقط على القزحية متبعثرة، وكلما قَصر طول الموجة الضوئية، اشتد تبعثرها؛ لذلك يتبعثر الضوء الأزرق أكثر من الأحمر معطيًا القزحية لونها الأزرق الطبيعي (يفسر هذا المبدأ تلون السماء والبحر باللون الأزرق). وتحوي القزحية مادة القتامين (الميلانين) وهي جزيئات صباغية تمتص أطوال الموجات المختلفة. وكلما زادت كمية القتامين في القزحية، امتُصت كمية أكبر من الضوء، فتبدو القزحية بلون بني غامق. أما في حال كانت كمية القتامين قليلة فيظهر اللون الأخضر أو البني الفاتح. وفي حال ازدياد نقصان كمية القتامين يصبح اللون الأزرق هو الغالب.

تَظهر الحدقة بلون أسود بسبب طبقة الخلايا الغنية بالميلانين المتوضعة خلف الشبكية (طبقة **الظهارة الصباغية الشبكية** retinal pigment epithelium)، التي تمتص كل الضوء الذي لا تمتصه الشبكية. هذا الامتصاص للضوء يحول دون تبعثره بشكل عشوائي باتجاه المستقبلات الضوئية للشبكية، مما قد يشوش الرؤية (تقوم الطبقة السوداء المبطنة للكاميرا بالآلية نفسها). وهكذا تبدو الحدقة سوداء نظرا لعدم ارتداد أي ضوء عبر الحدقة.

ونظرا لعدم تمكن المصابين بالمهق (البرَص) من تركيب القتامين، فلا تقوم الظهارة الصباغية للشبكية (RPE) بامتصاص الكثير من النور، مما يسبب نقصا شديدا في الرؤية لديهم بل حالة قريبة من العمى في النور المبهر. ويسبب ارتداد الضوء، باتجاه الحدقة والقزحية إنارة الأوعية الدموية، مما يجعلها تبدو وردية أو حمراء. ويمكن أن يحدث تأثير مشابه لذلك عند التقاط صورة لشخص ما باستعمال **الفلاش (الوميض** flash)، إذ إن الفلاش يكون ساطعا جدا، بحيث لا يمكن للظهارة الصباغية امتصاص كل الأشعة، ومن ثم فإن الضوء المرتد يجعل العين تبدو حمراء عند تصويرها.



يعود تاريخ إزالة العدسات المصابة بالساد إلى 1800 سنة قبل الميلاد، أي إلى زمن حمورابي. تصف النصوص المصرية القديمة والمؤلفات الإسلامية وكتابات العصور الوسطى الأوروبية، كيفية فصل العدسة عن العضلة الهدبية ودفعها إلى الخلط الزجاجي[1] (السائل الكثيف في القسم الخلفي للعين)، مع أن هذه العملية تزيل الحجاب عن الطريق الضوئي، لكن لا يبقى في العين عدسة لتركيز الأشعة، ومن ثم لا يرى المريض الأشياء بوضوح، بل صورًا مشوشةً، كما لو أنهم يفتحون عيونهم تحت سطح الماء.

إن استعمال النظارات الخاصة في القرنين السابع عشر والثامن عشر عَوّض أخيرًا عن القدرة التركيزية للعدسة المفقودة. أما في أيامنا هذه ـ بعد أن شاع زرع العدسات داخل العين ـ فلم تعد هناك حاجة إلى استخدام النظارات. ويجري الأطباء سنويا أكثر من مليون عملية ساد وزرع عدسات في الولايات المتحدة وحدها. ولحسن الحظ فإن هذه العملية التي لا تستغرق أكثر من 45 دقيقة تتمتع بنسبة نجاح عالية (100 في المئة تقريبا)، ومع ذلك فإن نحو ثلث عدد المرضى يراجعون أطباءهم بعقابيل الساد، وذلك بسبب بعض الخلايا اللامتمايزة (الخلايا الجذعية) التي تُترك أثناء الجراحة بشكل غير مقصود. وتبدأ هذه الخلايا بالتكاثر فوضويا بشكل مناف لسلوكها السوي خلال تطورها الجيني وتشكل كتلة غير متعضية تشوش الرؤية وقد تحتاج إلى تدخل جراحي ثان. ويعتبر الساد مسؤولا عن نصف عدد حالات العمى في البلدان التي تفتقر إلى الجراحة العينية، ففي الهند وحدها يسبب الساد فقدان الرؤية عند 3.8 مليون شخص سنويا.

إضافة إلى تشكل الساد، فإن العدسة المتقدمة بالسن تنحو إلى الاصفرار؛ إذ تتجمع ببطء البروتينات التي تمتص الضوء الأخضر والأزرق فتمنع هذين الضوءين من الوصول إلى الشبكية، كما تعطي العدسةَ مظهرًا أصفر أو بنيا، مما لا يسمح بمرور سوى الأشعة الحمراء والصفراء والبنِّية فقط، فيتغير منظر العالَم المحيط بالشخص المصاب (*انظر الإطار في الصفحة 30*).

انتحار مبرمج[**]

في السنوات الأخيرة، حقق العلماء أكثر من معجزة في دراسة صفات العدسة والتغلب على تراجع تلك الصفات المرتبطة بالعمر، فقد وجدوا أن العملية التي تحطم فيها العدسة عضياتها بشكل منتظم يمكن أن تقدم فرصة عجيبة لحل لغز بعض الأمراض البشرية المعقدة.

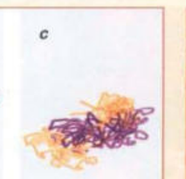
تنشأ خلايا العدسة (كما في بقية الخلايا) من الخلايا

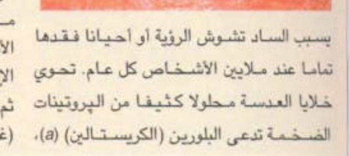
(*) العنوان الأصلي: Brown Eyes Blue
(**) Controlled Suicide

(1) vitreous

كيف يتشكل الساد؟[*]







يسبب الساد تشوش الرؤية أو أحيانا فقدها تماما عند ملايين الأشخاص كل عام. تحوي خلايا العدسة محلولا كثيفا من البروتينات الضخمة تدعى البلورين (الكريستالين) (*a*)، مرتبة وفق ترتيب محدد. لايزال الباحثون غير متأكدين لماذا حين تتأذى البلورينات بفعل الأشعة فوق البنفسجية أو الأكسدة أو نقص الإماهة فإنها تنهار بشكل ألياف غير مرتبة (*b*) ثم ترتص البروتينات غير المرتبة في كتلة مشوهة (غير مرتبة) (*c*). وتحجب الكتلة المتجمعة الضوء الوارد أو تشوشه مخلفة بذلك بقعة مشوشة في الحقل البصري للمريض. هذا وقد وجدت مستويات عالية من البروتينات غير المرتبة في ادمغة المصابين بداء الزايمر أو داء باركنسون، مما دفع العلماء إلى تعميق أبحاثهم عن علاقات مشتركة بين هذه الحالات.

الجذعية التي تحتوي خلال تطورها الجنيني على العضيات، غير أنها تتخلص من هذه العضيات في مرحلة التمايز لتصبح الأجزاء المتبقية شفافة للضوء. وقد لا يبدو هذا الأمر مشكلة في البداية، ولكن عندما نأخذ بعين الاعتبار ما يحدث عندما تواجه الخلايا الأخرى أذية خفيفة في **الدنا** DNA، تحدث عندئذ عملية غير عكوسة تدعى **الموت الخلوي المبرمج** apoptosis، حيث تقوم البروتينات المتحررة داخل الخلية بهضم الدنا والبروتينات الأساسية؛ كما تتوقف الميتوكندرات عن العمل، فتحرم بذلك الخلية من مصدر طاقتها، ومن ثم تتجزأ الخلية وتنحل. وتنتحر الخلايا المريضة بشكل نظامي لتترك مجالا للخلايا السليمة الجديدة، وإلا فلن يكون العضو الذي يحوي خلايا مصابة متجمعة قادرا على العمل بشكل طبيعي. ويحدث في بعض الحالات أن تقتل الخلايا المصابة نفسها، ولا تبدأ بالتكاثر، ومن ثم تتحول إلى خلايا سرطانية. تحطم خلايا العدسة نواتها وجميع عضياتها الأخرى، ومع ذلك تتوقف قبل اكتمال عملية الانحلال تماما تاركة غشاء خارجيا سليما وهيكلا خلويا داخليا بروتينيا وبلازما بلورية كثيفة (*انظر الإطار في الصفحتين 26 و 27*).

وقد غدت القدرة على توقف الانتحار الخلوي مفاجأة للعلماء حيث كانوا يعتبرون أن الموت الخلوي المبرمج هو عملية لا يمكن إيقافها، لكن ثمة آلية مجهولة في العدسة تتحكم في سيرورة الموت الخلوي لعناصر خلوية محددة فقط، في حين تبقى عناصر أخرى سليمة. و قد بدأتُ مع بعض الزملاء المتخصصين في علم العدسة نعتقد بوجود آلية محددة توقف التخريب الكامل. فقد أثبتنا أن حجرات محددة في الخلايا المتمايزة (النواة والميتوكندرات) تتبع نفس آلية التحطم الحادث أثناء الموت الخلوي المبرمج للخلايا الناضجة. لكن الحجرات الأخرى، مثل الهيكل الخلوي يبقى سليما. ولذا فإن التطبيق العملي هو أن خلايا العدسة تستفيد من آلية الموت ليس لتدمير ذاتها وإنما لتحقيق سيرورة التمايز[1].

إن الآلية القادرة على التحكم في الموت الخلوي المبرمج تستطيع أن تغير تطور الأمراض المعروفة بالانتحار الخلوي المفرط، مثل الأمراض العصبية التنكسية. ولمعرفة هذه الآلية يتحتم على الباحثين إيجاد الإشارات أو الحاصرات التي توقف التحطم الكلي. وبشكل مشابه، فإن الكشف عما ينبه خلايا العدسة لتحطيم عضياتها قد يطرح طرقا جديدة لتحريض الخلايا السرطانية على الموت أو الانتحار بشكل مبرمج.

وتشير بعض الدلائل إلى ذلك، منها إحدى النظريات التي قدمها <S. باسينت> [من جامعة واشنطن] لشرح بداية الموت الخلوي المبرمج. وتنص هذه النظرية على أنه خلال التطور عندما تتشكل خلايا العدسة الجديدة حول الخلايا الموجودة القديمة (مثل الطبقات الجديدة حول لب بصلة نباتية)، فإن الخلايا القديمة تصبح أبعد عن السطح وتقل كمية الأكسجين الواصلة إليها. فإذا انخفض تركيز الأكسجين إلى ما دون عتبة معينة، فربما تتأثر سلبًا سلامة الميتوكندرات التي تعتمد على كمية أكسجين محددة لإنتاج الطاقة. وبإحساسها بهذه المشكلة، تقوم الخلية بتحرير عوامل ما قبل الموت المبرمج (العوامل المؤهبة لحدوث الموت الخلوي المبرمج). تبدو هذه النظرية معقولة و**مقبولة** plausible، لأن الميتوكندرات المتضررة معروفة بأنها تنبه الموت في الخلايا الناضجة للإنسان. ولما كانت آلية الموت موجودة وجاهزة دائما للانطلاق، فبمجرد أن تتحسس

(*) How Cataracts Form

(1) differentiation process

الرسم عبر عيون هرمة(*)





رسم <كلود مونيه> الجسر الياباني في حديقة جيڤرني قرب باريس (عام 1899) (*في اليمين*). وتبدي الصورة في اليسار المنظر نفسه الذي حاول التقاطه مجددا في عامي 1918 و 1924، فقد ظهر جليا أن الساد قد شوش نظره، وأن اصفرار عدستيه قد قلل من إدراكه للألوان الزرقاء والخضراء، جاعلة العالم من حوله مليئا بالألوان الحمراء والبنية.

لقد أثر التقدم بالسن بشدة في بصر الفنان الفرنسي الانطباعي <كلود مونيه> [1926-1840]؛ إذ أضعف الساد من بصره وغيّر اصفرارُ العدسة عنده من إدراكه للألوان. فقد وفرت أعماله الفنية خلال العقد الأخير من حياته ملاحظات دقيقة حول كيفية تغير نظر الإنسان بسبب هذه الإعاقة البصرية الشائعة.

بدأ الاصفرار أولا، ثم تجمع البروتين الماص للألوان الباردة من البنفسجي والأزرق، ومؤخرا الأخضر، تدريجيا في عدستي عينيه، مانعة وصول الأشعة الضوئية إلى الشبكية، في حين بقي الضوء الأحمر والأصفر يمر عبر العدسة جاعلا العالَم من حوله عالما من الألوان أكثر دفئا.

شوش الساد بصره لاحقا حتى صار يرى كما لو أنه ينظر عبر زجاج مغشّى بالجليد. ومع مرور الزمن أصيب بصعوبة بالغة بتمييز الأشكال، حتى إن ضوء النهار العادي أصبح معتمًا، ولم يعد بإمكانه في المراحل المتقدمة سوى التمييز بين النور والظلام فقط.

لاحظ <مونيه> لأول مرة حدوث تغير في بصره خلال رحلة إلى ڤينيسيا (البندقية) عام 1908، إذ لم يكن الفنان ذو الثمانية والستين عاما قادرا على اختيار الألوان. وفي عام 1912 شخص له طبيب إصابته بالساد بكلتا عينيه ونصحه بإجراء عملية جراحية، لكن الفنان كان خائفًا، لاسيما في ذلك الزمن الذي لم تكن العمليات الجراحية على العين تخلو فيه من اختلاطات، فاستخراج الساد غالبا ما كان ينهي الحياة المهنية للفنانين.

وتُظهر أعمال <مونيه> منذ تلك الفترة تفاصيل أقل، فغلبت الألوان الأصفر والأحمر والبني على أعماله. وعندما تفحص الفنان لوحاته الأخيرة تأثر تأثرا كبيرا بشيخوخته ورغب بإتلاف تلك اللوحات. وفي مستهل عام 1922 كتب أنه ليس بإمكانه من الآن فصاعدا إنتاج أي عمل رائع.

وفي أواخر العام نفسه (1922) لم يعد بإمكانه سوى تحري الضوء وتحديد الاتجاه في العين اليمنى فقط، وكانت عينه اليسرى لا ترى إلا بنسبة 10% من قوة البصر الطبيعي. وفي الشهر 1923/1، وبعمر 83 سنة، تم أخيرا إجراء عملية الساد في عينه اليمنى، لكنه اشتكى من رؤية الألوان بشكل متداخل وغير واضح من خلال النظارات التي كان يرتديها. وفي عام 1925 وجد أخيرا نظارات مناسبة، مما جعله سعيدا، فكتب حينها أنه يرى بشكل جيد وسوف يعمل بجد، لكن للأسف توفي بعد سنة من ذلك.

الخلايا أذية خلوية جديدة تنطلق آلة الموت من دون توقف وتفتح أبواب جحيم التخريب الخلوي.

وقد اقترح <باسنيت> في الوقت ذاته وجود سبب آخر للموت الخلوي، ألا وهو حمض اللبن المتشكل من تحطم الگلوكوز الذي يحدث في العدسة المتمايزة. ولما كانت الخلايا الناضجة في مركز العدسة فاقدة الميتوكندرات، فإنها تلجأ إلى توليد الطاقة بتحويل الگلوكوز إلى حمض اللبن. وزيادة هذا الحمض تسبب تغيرا في التركيز وارتفاع نسبة الحموضة، وإن أيا منهما يؤدي إلى بدء الموت الخلوي.

أظهرت دراسة خلايا العدسة التي أجراها <M. ريد> [من جامعة كارديف في بريطانيا] و<E. ساندرز> [من جامعة ألبرتا في كندا] أن العامل المُنخِّر للأورام (TNF)(1) ينبه تحطم نواة العدسة. إن العامل المنخر للأورام هو بروتين مرسال أو سيتوكين يعمل كعامل محرض على الموت الخلوي المبرمج في الخلايا السليمة وفي خلايا ورمية محددة. لكن لا أحد يعلم طبيعة آلية عمل هذا السيتوكين في خلايا العدسة.

(*) Painting Through Old Eyes

(1) tumor necrosis factor

وقد كشف <C. لاين> وزملاؤه [في مستشفى ماساتشوستس العام] الجزيئات التي تستجيب لمحرضات الموت الخلوي. فعلى سبيل المثال، وجدوا أن الإنزيم 15-lipoox ygenase يستطيع أن يقحم نفسه في الأغشية الخلوية للعضيات محدثا فيها فجوات تسمح للبروتيناز (الإنزيمات الحاطمة للبروتينات) بالدخول وتحطيم العضيات. لكن لا يزال مجهولا لنا ما الذي يوقف نشاط هذا الإنزيم في الوقت المناسب أثناء تمايز خلايا العدسة.

لقد قدم مؤلف هذه المقالة وآخرون بحثا جديدا زودنا برؤية محتملة للآلية الموقِفة لنشاط ذلك الإنزيم. فقد وجد مؤلف هذه المقالة أن بروتينا يسمى گالاكتين 3 galectin-3 موجود في عدسة الإنسان والفئران والجرذان، بإمكانه أن يرتبط بجزيئات أخرى ويجري إنتاجه في خلايا العدسة، التي مازالت تحوي عضياتها، وينقصُ تركيبه عندما تبدأ هذه العضيات بالاضمحلال. ويمكن لهذه الآلية التحكم في عملية الموت الخلوي المبرمج، لكن ليس لدينا فكرة عن العوامل التي تنبه توقف ذلك البروتين (galectin-3). وقد بدأنا بدراسة البروتين galectin-3 لدوره المعروف في وظائف حيوية متنوعة لها علاقة بتكاثر الخلية والموت الخلوي المبرمج والتمايز في نسج أخرى.

ومؤخرا، اكتشف <S. نيشيموتو> [من جامعة Osak] إنزيم الدناز DNAse: الإنزيم الذي يشطر الدنا في خلايا العدسة والذي هو ضروري لتحطيم الدنا في خلايا العدسة. وعندما يُفقد هذا الجزء من الدناز من فئران التجربة، فالنتيجة أن الفئران المولودة تكون مصابة بالساد. ولم يحدث التحطم الخلوي المبرمج لنواة العدسة أثناء تمايز خلايا العدسة، في حين حدث بشكل طبيعي في خلايا أخرى. قد يولد الأطفال مصابين بالساد عندما لا تتحطم العضيات أثناء التطور الجنيني وربما يحدث هذا نتيجة إصابة فيروسية للأم، مثل الحصبة الألمانية[1].

ومن الممكن بطبيعة الحال الاقتناع أنه بدلا من إيقاف الموت الخلوي المبرمج في منتصف الطريق، فإن خلايا العدسة تتظاهر بالموت لأن بعض العناصر تقاوم الجزيئات التي تؤثر في التحطم الذاتي. فعلى سبيل المثال، البروتينات الموجودة في العدسة فقط قد تكون غير مرئية للإنزيمات القاتلة، التي تحطم الهيكل الخلوي للخلايا الأخرى. وقد وجِد دليل آخر على أن البلّورينات ربما تشكل حاجزا يحمي بروتينات محددة بالذات ويمنع الإنزيمات القاتلة من الوصول إلى أهدافها.

أسماك شبيهة بالحمر الوحشية[*]

ومع تقدم الأبحاث فقد توفر سمكة الحمار الوحشي[2] أدلة واعدة لدراسة التطور الجنيني؛ إذ إنها تحتوي على عدد قليل من الخلايا الشافة في المراحل الأولى لتخلقها، ومن ثم يستطيع الخبراء مراقبة تشكل أعضائها الداخلية. تتطور معظم هذه الأعضاء بشكل سريع لا يصدق، وذلك خلال الـ48 ساعة الأولى بعد وضع البيض. وفي اليوم الثالث تفقس البيضة وتخرج سمكة صغيرة تبدأ بالسباحة. ولما كانت أسماك الحمر الوحشية من الفقاريات[3]، فإن التحكم الوراثي لتطورها مشابه إلى حد كبير لنظيره عند البشر.

لقد أجرت مجموعات بحثية عدة أبحاث عن أسماك الحمر الوحشية، من بينها <Ch. نلسن-فولهارد> [الحائزة جائزة نوبل، من معهد ماكس پلانك]. وقد وجدت أن من بين الأنواع الطافرة أفرادا لها عدسات ذات عضيات سليمة، وأفرادا بخلايا ذات خلايا عدسية نفقت كليا، وثمة أفراد مصابة بساد يُشبه إلى حد كبير الساد عند البشر.

وتبحث المختبرات عما إذا كانت هذه الأنواع الطافرة تزودنا بمعلومات جديدة عما يبدئ الموتَ الخلوي المبرمج ويوقفه. وإذا تم ذلك، يمكن أن تتطور النظرة للأبحاث الطبية للتغلب على أمراض الموت الخلوي. وفي غضون ذلك يمكن أن تساعد تلك الدراسات بشكل كبير على تطوير فهمنا لكيفية تشكل الساد وآليته، ومن ثم ترشدنا إلى طرق إبطاء تطوره أو منع حدوثه. ويكفي هذا الاحتمال لكي يحفز اهتمامنا بهذا الاتجاه. ■

(1) rubella
(*) Swimming Zebras
(٢) zebra fish وهي سمكة صغيرة مخططة كحمار الوحش.
(٣) vertebrate

المؤلف

Ralf Dahm

مدير مشروع في معهد ماكس پلانك للبيولوجيا التطورية بألمانيا. حصل على الدكتوراه في الكيمياء الحيوية من جامعة داندي باسكوتلندا ويشرف على مشروع أوروبي عام لاستخدام أسماك الحمر الوحشية كنموذج للتطور البشري وأمراض الإنسان. وقد شارك في تأليف الكتاب بعنوان: Zebrafish: A Practical Approach، كما ألف كتابا علميا شعبيا باللغة الألمانية حول التطور الجنيني البشري، والخلايا الجذعية والاستنساخ. ودام> يركز انتباهه أيضا على الكيفية التي تغير فيها أمراض العين طريقة رؤية الفنان للعالم حوله، ومن ثم كيف يعبر عنه بفنه.

مراجع للاستزادة

Nuclear Degeneration in the Developing Lens and Its Regulation by TNFalpha. Michael A. Wride and Esmond J. Sanders in *Experimental Eye Research*, Vol. 66, No.3, pages 371–383; 1998.

Lens Organelle Degradation. Steven Bassnett in *Experimental Eye Research*, Vol. 74, No. 1, pages 1–6; 2002.

Developmental Aspects of Galectin-3 Expression in the Lens. R. Dahm, S. Bramke, J. Dawczynski, R. H. Nagaraj and M. Kasper in *Histochemistry and Cell Biology*, Vol. 119, No. 3, pages 219–226; 2003.

Nuclear Cataract Caused by a Lack of DNA Degradation in the Mouse Eye Lens. S. Nishimoto et al. in *Nature*, Vol. 424, pages 1071–1074; 2003.

Scientific American, October 2004

أفضل من الكلاب في كشف المتفجرات![*]

البحث جار عن محس يتفوّق على الكلاب في كشف المتفجرات.

<G. ستيكس>

أثار الهجوم الارهابي على شبكة مترو أنفاق لندن في صيف عام 2005 موجة من الدعوات وجّهها السياسيّون لنشر تقانات جديدة يمكنها التنبيه إلى وجود قنابل قبل انفجارها. إلا أن جهاز الكشف الذي يستطيع اكتشاف عدّة أنواع من المتفجّرات بسرعة ودقة، ومن مسافة تبعد بما فيه الكفاية لحماية الناس والممتلكات، هو جهاز لم يخرج بعد إلى حيز الوجود. والأقرب إلى المطلوب كلب ذو حاسّة شمّ كاشفة، علما أن هذا الأخير لا يتمتّع بالقدرة على تركيز انتباهه مدّة طويلة ويحتاج إلى فترات راحة متعدّدة.

وفي هذا الصدد يحاول الكيميائيّون وعلماء المواد والمهندسون الإلكترونيّون ابتكار أفكار أخرى غير مجرّد وضع مادة الريتالين[1] في طعام الكلاب. وتشكّل نطق واسعة من الطيف المغنطيسي الكهربائي والجدول الدوري للعناصر إطارا مناسبا للتوصل إلى نتائج حاسمة في هذا الشأن. حتى إن عالم الحشرات يمكن الاستفادة منه في التصدي لهذه المسألة. وقد عرض تقرير المجلس الوطني للأبحاث (NRC)، تحت عنوان «*التقنيّات المتوافرة والمحتملة لاكتشاف المتفجّرات من بُعد*»، أفكارا غير مألوفة تهدف إلى العثور على قنابل مخفيّة تحتوي على متفجّرات معهودة. فالنّحل يمكن تدريبه، من خلال تبديل عاداته الغذائيّة، لحمله على الاندفاع بحشود كبيرة نحو مركبة تحمل رزما من الديناميت. وفي حالة عدم وجود ذلك، فإن «الحشرات» الإنسالية[2] المزوّدة بمحسات قد تفي بالغرض.

وقد أوصى التقرير الذي تولّت وكالة مشاريع أبحاث الدفاع المتقدّمة (DARPA) مهمّة وضعه بأن يتمّ توجيه البحث المستقبلي نحو اكتشاف العلامات الجسديّة المنبّهة ـ كتغير لون البشرة أو زيادة تدفّق الدم ـ التي تظهر على مفجّر انتحاري أو على أي شخص آخر يحمل المتفجّرات. ولعلّ الفكرة الأكثر جموحا كانت تتمثّل باستخدام تقنية التصوير للبحث عن حالات الشذوذ التي تطرأ على حقل الأيونات الطبيعي للأرض، لأن المواد التي تتألّف منها القنابل قد تتسبّب باستنفاد الأيونات ذات الشحنة السالبة التي تحيط بالشخص الذي يحمل السلاح.

تنتمي أجهزة اكتشاف المتفجّرات إلى فئتين: الأولى هي النظم المخصّصة للأحجام الكبيرة ـ والآلات التي تعمل بالأشعة السينية في المطارات هي أفضل مثال على ذلك ـ التي تبحث عن القنابل من خلال تكوين صورة عن الشحنة وصواعق التفجير والأسلاك. وقد تحاول هذه الأجهزة في بعض الحالات أيضا تمييز التركيب الكيميائي أو الخصائص الأخرى للمواد. والأخرى هي أجهزة كشف الأثر ـ هذه الأجهزة التي تستخدم حاليا في المطارات على نطاق واسع ـ وهي تركز على اكتشاف الأبخرة أو الجسيمات المنبعثة من متفجّرة ما.

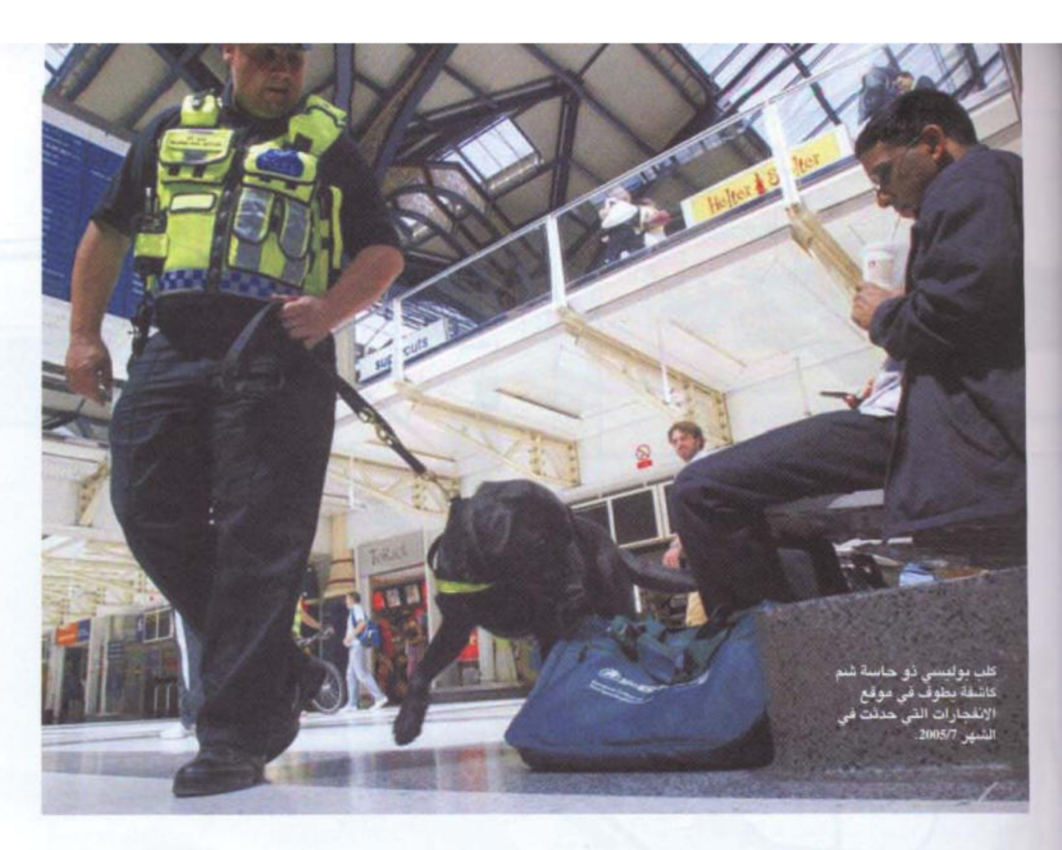
ربما لا تكون محسات اضطرابات الحقل الأيوني جاهزة بعد لتسليمها للسلطات التي تراقب عددا كبيرا من الأشخاص أثناء عبورهم منطقة ما، مع أن الأبحاث حول طريقة الأحجام الكبيرة وطريقة كشف الأثر قد ازدادت كثيرا، وغالبا في الكشف من قرب عن الأثر. أما آلات التصوير التي تنشر موجات مليمترية تصل تردّداتها إلى حدود التيراهرتز، أو النظم العاملة بالأشعة السينية التي تغطّي مجموعة واسعة من الاهتمامات، فإنها تحاكي حرفيا مخيلة المراهقين في الكتب الهزليّة وهم يحدقون في الأجسام فتخترق أنظارهم الأثواب والبدلات. وقد تكون المشكلات المتعلّقة بالخصوصيّة والسريّة عائقا أمام انتشار هذه الآلات. وهنالك تقنيات أخرى تستخدم بشكل رئيسي الليزر أو التصوير بالأشعة دون الحمراء، أو حتى الأجسام المضادّة، اعتبرها المجلس الوطني للأبحاث مجالا محتملا لأبحاث جديدة. وفي الوقت الحاضر، فإن الكشف من بُعد ـ أي القدرة على إطلاق إنذار من مسافة تبعد من 30 إلى 50 قدما عن موقع مفجّر انتحاري، أو من مسافة تبعد ما بين 500 و 1000 قدم عن سيّارة أو شاحنة مفخّخة ـ لا يتعدى كونه فكرة عامّة أكثر من كونه نوعا جديدا من التقانات. وقد أشار <K. Ch. مورفي> [مدير دراسة البرامج في المجلس الوطني للأبحاث] إلى ذلك قائلا: «لا أظنّ أنّنا بلغنا مرحلة مفيدة وفعّالة للتعاطي مع حالة لندن أوالعراق.»

قد يحتّم اكتشاف المتفجرات من بُعد نشر شبكات كبيرة من نظم التصوير أو نظم كشف الآثار في أمكنة عديدة من المدن. وقد يتطلّب الأمر استخدام هذين النموذجين من المحسات لمضاعفة عمليّة التحقّق من الإنذارات الكاذبة. وسيكون على برامج الحواسيب القويّة البحث عن التهديدات الفعليّة بين آلاف المعلومات وإطلاق إنذار في غضون ثوان. فالتحديات هائلة، وحتى مع توافر المحسات المرئيّة التي تعمل بالأشعّة السينية، فقد يكون من الأسهل الاتصال بسوپرمان والاستعانة به ليس إلا.

(*) BETTER THAN A DOG

(١) Ritalin ماركة مسجلة لعقار يعتبر منشطا خفيفا للجهاز العصبي المركزي.

(٢) robotic = إنسالية، وهذه مشتقة من إنسالة التي هي نحت من إنسان-آلي robot. (التحرير)



كلب بوليسي ذو حاسة شم كاشفة يطوف في موقع الانفجارات التي حدثت في الشهر 2005/7.

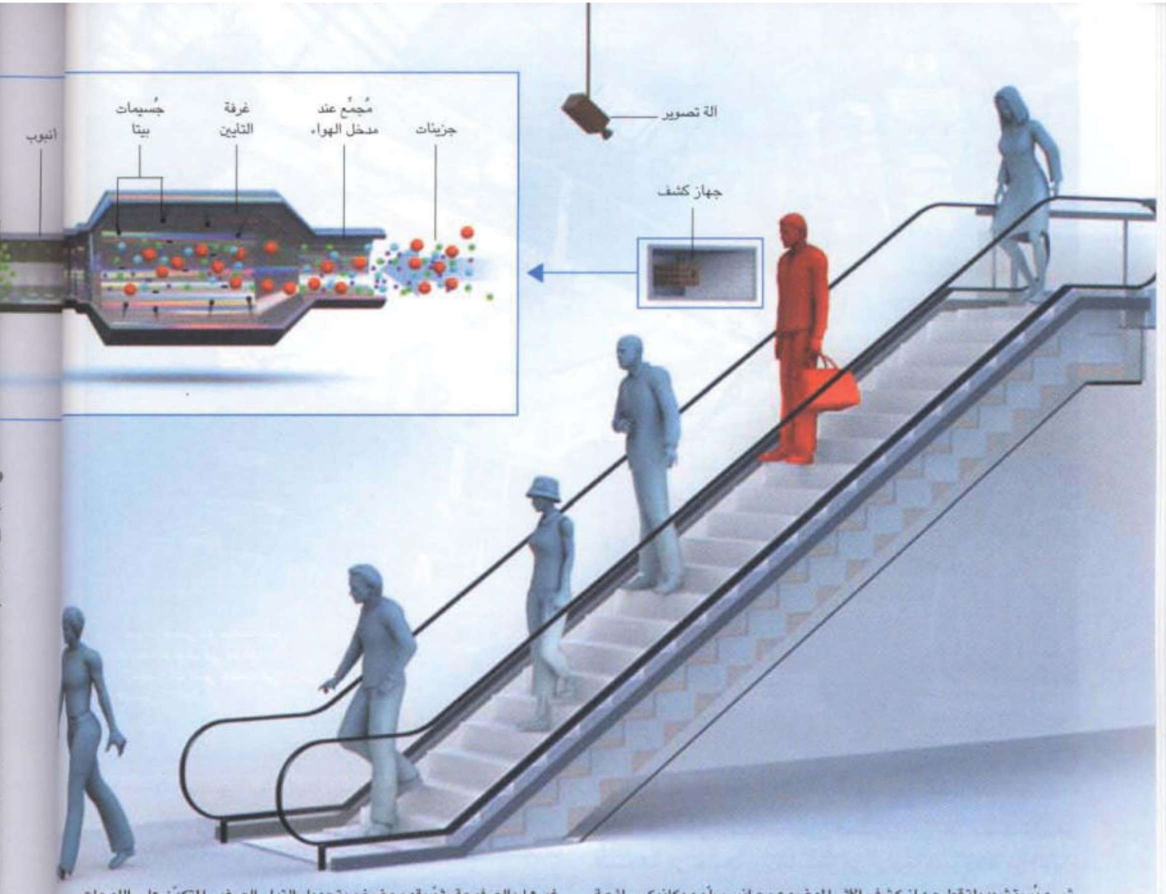
تفكيك ذلك المخلوق الغريب(*)

ومع ذلك فالعمل جار على إنزال الكلاب عن المكانة التي تتبوأها. فقد قام ‹M. B. دنتن› [الأستاذ في جامعة أريزونا] بتجميع جهاز معدل لكشف الأثر مختلف قليلا عن الأجهزة المستخدَمة في المطارات، وباعتقاده أن هذا الجهاز قد يتمكّن يوما ما من حماية شبكات مترو أنفاق لندن وأنظمة النقل الأخرى الواقعة تحت سطح الأرض. والسيّد ‹دنتن› يمتلك نزعة الابتكار وهو مميّز في تصميم الآلات ولا يستطيع كبت حماسته تجاه أي نوع من الآلات، بدءا بأجهزة قياس الطيف وانتهاء بسيارات السباق. وفي جوار منزل ‹دنتن› [القائم في ضواحي تاكسن بولاية أريزونا] مصنع للآلات يستخدمه في إنتاج أدوات لمختبره الجامعي. ولكنه يستخدم هذا المعمل أيضا لتجميع سيارات تشارك في سباقات على حلَبات بونَقيل سولت فلاتس. وفي عام 2001، سجّل ‹دنتن› رقما قياسيًا في السرعة للسيّارات الرياضيّة المعدّلة ـ بمعدّل 264.007 ميل في الساعة خلال دورتين. وهو يأمل تخطّي عتبة الـ300 ميل في الشهر 2006/8، مستعيدا الرّقم القياسي لجميع أنواع سيارات السباق، الذي أخلاه لمنافس له عام 2004.

لقد كانت شهرة ‹دنتن› لا تقتصر على كونه هاويا لجمع السيارات؛ فبدءا من أواخر سبعينات القرن العشرين، اي بعد عدّة سنوات من انضمامه إلى جامعة أريزونا، نجح في مزاوجة مجموعات من أجهزة الكشف ـ مثل أدوات القرن الشحني(1) وأدوات الحقن الشحني(2) ـ مع مقاييس الطيف(3) التي تُعتبَر أدوات رئيسيّة في مختبرات الكيمياء. وقد طور ‹دنتن› أجهزة لعلماء الفلَك وعلماء البيئة والجيولوجيّين وغيرهم. وقبل سنوات قليلة، قام بتكييف تقنيّة لتضخيم الإشارة الصادرة عن الأشعة دون الحمراء التي يستخدمها الفلَكيّون (في مرصد ستووارت بالقرب من الجامعة) مع الأيونات عوضا عن الفوتونات.

ومن أجل الكشف عن المتفجّرات، قام ‹دنتن› بضم المكبّر إلى جهاز قياس الطيف، وهي التقنية المعتمَدة في أجهزة كشف الأثر في المطارات. وأحد الأمثلة على طريقة استخدام هذه التقنية هو أن أبخرة أو جسيمات المواد الشديدة الانفجار مثل: RDX، PETN، TNT أو غيرها من المتفجرات التي تعتمد على النتروجين، تدخل في مجمّع يقوم بمعالجتها قبل تحويلها إلى أيونات ونقلها من خلال أنبوب إلى صفيحة معدنيّة. فأولا، تصطدم الأيونات الأصغر بالصفيحة، وبعد ذلك تصطدم الأيونات الأكبر. وفي الجانب الآخر من الصفيحة، يحوّل المضخم التيّار الذي تولّده الأيونات المصطدمة بالصفيحة إلى فلطيّة خرج عالية إلى حدٍّ ما (16 ميكروفلط للأيون

(*) Deconstructing Fido
(1) charged-coupled
(2) charge-injection
(3) spectrometer



شيء يُستشم: يلتقط جهاز كشف الأثر الموضوع بجانب سلّم ميكانيكي رائحة راكب يحمل قنبلة (بالأحمر) من خلال امتصاص الهواء، في بادئ الأمر، ونقله إلى داخل مُجمّع. وتقوم جُسيمات بيتا بتأيين غاز، وهذا الغاز يؤين بدوره جزيئات المتفجرات الموجودة في الهواء. تدفع الأيونات المتولدة إلى داخل انبوب بوساطة حقل إلكتروستاتي. وتنتقل الأيونات الأصغر بسرعة أكبر وتصطدم قبل غيرها بالصفيحة. ثمّ يقوم مضخم بتحويل التيار الصغير المتكوّن على اللوحات إلى فلطيّة خرج عالية، ممكنًا من إجراء عمليّة الكشف من بُعد. ويبحث برنامج حاسوبي عن إشارات كهربائيّة صادرة عن متفجّرة ما، وتقوم الة تصوير (كاميرا) بالتقاط صورة للمفجّر. ويُظهر هذا الرسم التوضيحي فكرة جهاز ما زال يتطلّب سنوات عدّة من التطوير قبل عرضه في الأسواق.

الواحد)، مُحدثا قليلا من الضجيج نسبيا. ويقوم برنامج حاسوبي خاص بالبحث عن أيونات محدّدة مميزة للمواد المتفجرة.

ويحسب ‹دنتن›، فإن حساسيّة المضخم تفوق ألف مرّة حساسيّة المضخمات المستخدَمة في جهاز تقليدي لكشف الأثر. ويذكر ‹دنتن› أن هذا المضخم قادر على كشف بضع عشرات من **الأتوغرامات**[1] attograms من غبار المتفجّرات، عند أخذ عيّنة من الهواء كل 20 مليثانية. وبتقديره فإن حساسية هذا المضخم تُمكن من تحديد وجود متفجّرة على بُعد 15 قدَما على الأقل وربّما على بُعد 50 قدما، ممّا يجعل عمليّة وضعه بجانب سلّم كهربائي أو درج في شبكة لمترو الأنفاق أمرا سهلا. ويقول ‹دنتن› إن تكلفة الجهاز الواحد قد لا تتجاوز ألفي دولار.

وفي الشهر 2005/3، وقبل عقد جلسة الجمعيّة الكيميائيّة الأمريكيّة، التي عرض خلالها ‹دنتن› عمله، أصدرت الجامعة بيانا صحافيًا صرّح فيه هذا الهاوي بأن جهازه يقارن بآلة المسح الثلاثية (تريكوردر)[2] الموجودة في المركبة Star Trek الفضائية. وقد حفّز ذلك بعض الباحثين (في مختبر سانديا الوطني الذي قام بتمويل معظم أبحاث ‹دنتن›) إلى الاهتمام بالتقانات القذفيّة. ويقول ‹K. لينكر› [أحد خبراء المختبر سانديا في كشف المتفجّرات]: «حاليا لا وجود لتقانة تكشف الأثر لإجراء تحفّظ من مسافة 15 أو 50 قدَما.» ومختبر ‹سانديا› الذي عمل على جهاز محمول لكشف الآثار يُدعى ميكروهوند (الكلب الصغير)، والذي يدرس إمكانيّة تضمين مضخم ‹دنتن› في نظامه، لا يشير إلى تقانة اكتشاف المتفجّرات من بُعد.

(١) يعادل الأتوغرام الواحد 10^{-18} من الغرام.
(٢) tricorder

الانتحاريّين في ميدان ما أو شارع أو أي منطقة عامّة أخرى، تحدّيات أكبر. وقد حاول <H.E. كاپلان> [وهو أستاذ في أبحاث العمليّات بجامعة ييل] تطبيق أنواع من الطرق الكمّيّة المستخدمة في تحسين عمليّة اتخاذ القرارات في مجال الأعمال والقوات المسلّحة تهدف إلى تقييم مسائل اجتماعيّة بدءا بتوزيع الإبر لمرضى الإيدز وانتهاء بالرهانات حول مباراة في كرة السلّة.

وضع <كاپلان> مع <M. كريس> [وهو باحث آخر في أبحاث العمليّات بالمدرسة البحريّة للدراسات العليا في مونتري، كاليفورنيا] دراسة لصالح وكالة مشاريع أبحاث الدفاع المتقدّمة(DARPA) نُشرت في المجلة الأمريكية *Proceedings of the National Academy of Sciences* وذلك في الفترة التي شهدت الهجمات على لندن. وقد وضعت الدراسة نموذجا لسيناريو يُمكّن «محسات مثاليّة» من إطلاق إنذار مسبّق خلال مدة تكفي للتعامل مع مفجّر انتحاري. وقد أظهر النموذج أن المحسات هذه لا تنقذ سوى عدد قليل من الأرواح في ساحة عامّة أو في شارع مكتظّ. وفي بعض الحالات، من المحتمَل أن تؤدي الاستعانة بمعلومات سريّة إلى زيادة عدد الإصابات. فكلما ازداد حشد الناس كثافة، انخفض أسيًا أي احتمال تعرّض شخص ما إلى شظايا قنبلة، لأن الخط الأمامي للحشد يكون واقيا لهذا الشخص. ولدى فرار الناس، يبقى الهاربون معرّضين لمفاعيل الانفجار، التي قد تتسبب بعدد من الضحايا أكبر ممّا لو بقيت الجماعة المتراصّة في مكانها. ويقول <كاپلان>: «الاقتراح واضح وهو أن الإجراءات الدفاعيّة في الدقيقة الأخيرة لا تبدو الطريقة المناسبة عندما تتحدّثون عن أهداف عشوائية.»

ويوصي <كاپلان> و <كريس> بضرورة تجنيد جميع الطاقات الاستخباراتية بدلا من محاولة بناء شبكة من المحسات تكون موجودة في كل زمان ومكان. فبذل الجهود لتجنيد ضباط مخابرات ناطقين باللغة الباشتونيّة والعربيّة والأرديّة، هو أجدى لتحقيق إنجازات أكبر مما يتحقق بالسعي الدونكيشوتي وغير العملي إلى التريكوردر (آلة المسح الثلاثية المستخدمة في حرب النجوم.) ■

Perfect Is Not Good Enough (*)



ويقول <لينكر> إن التركيزات الصغيرة من الجُسَيْمات والأبخرة تجعل عمليّة الكشف من بُعد أمرا صعبا. ويضيف: «من وجهة نظرنا، لم يتمّ التثبّت من ادّعاءات <دنتن>». لكن <دنتن> يُصرّ على رأيه، ملاحظا أن الحساسيّة التي يُضفيها المضخم على مقياس الطيف ستجعله أول جهاز اكتشاف قادر على تمييز المتفجّرات من مسافة لا بأس بها.

لا يكفي بلوغ حدّ الكمال(*)

حتى وإن أصبحت عمليّة الاكتشاف من بُعد واقعا حقيقيا في مترو الأنفاق، وقادرة على منح الركّاب ثواني ثمينة من الوقت للاستجابة لإنذار مُسبَق، فإن الحلّ قد لا ينجح في الشوارع القائمة فوقه. فلشبكة مترو الأنفاق مداخل يمكن مراقبتها، نظريًا، وإن كان ذلك بصعوبة أكبر من ضبط الوصول إلى مداخل المطار ومخارجه. وبصورة مماثلة، من المحتمَل أن تطرح عمليّة اعتقال المفجّرين


محسّ بموجات مليمترية يمكنه الكشف عن سلاح مخبأ كما يمكنه كشف عضلات الصدر.

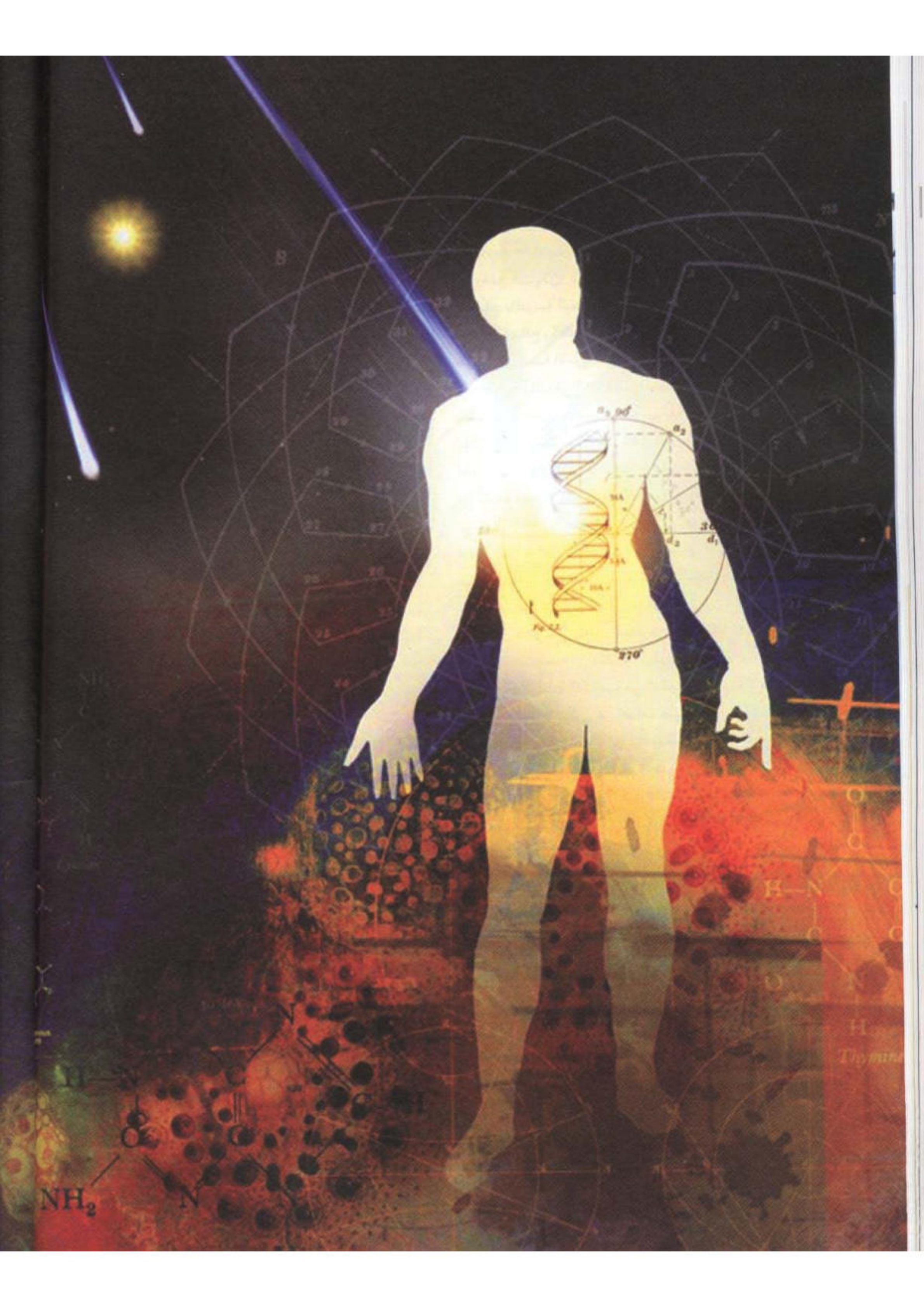
مراجع للاستزادة

Existing and Potential Standoff Explosives Detection Techniques. National Academies Press, 2004. Available at http://books.nap.edu/catalog/10998.html

Survey of Commercially Available Explosives Detection Technologies and Equipment. NIJ Office of Science and Technology, Washington, D.C., 2004.

Operational Effectiveness of Suicide-Bomber-Detector Schemes: A Best-Case Analysis. Edward H. Kaplan and Moshe Kress in online *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, Vol. 102, No. 29; July 19, 2005.

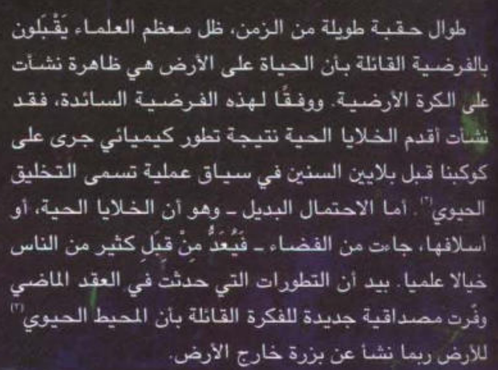
Scientific American, October 2005



هل أتت الحياة من عالم آخر[*]

تظهر الأبحاث الحديثة أن ثمة أحياء ميكروية[1] ربما بقيت حية بعد رحلة من المريخ إلى الأرض.

<D. وورمفليش> ـ <B. وايس>



طوال حقبة طويلة من الزمن، ظل معظم العلماء يَقْبَلون بالفرضية القائلة بأن الحياة على الأرض هي ظاهرة نشأت على الكرة الأرضية. ووفقًا لهذه الفرضية السائدة، فقد نشأت أقدم الخلايا الحية نتيجة تطور كيميائي جرى على كوكبنا قبل بلايين السنين في سياق عملية تسمى التخليق الحيوي[2]. أما الاحتمال البديل ـ وهو أن الخلايا الحية، أو أسلافها، جاءت من الفضاء ـ فَيُعَدُّ مِنْ قِبَلِ كثير من الناس خيالا علميا. بيد أن التطورات التي حدثت في العقد الماضي وفّرت مصداقية جديدة للفكرة القائلة بأن المحيط الحيوي[3] للأرض ربما نشأ عن بزرة خارج الأرض.

لقد عرف علماء الكواكب أن المنظومة الشمسية في باكورة تاريخها ربما كانت تتضمن كثيرا من العوالم التي تحتوي ماء سائلا، وهو المكوِّن الأساسي للحياة كما نعرفها. هذا وثمة بياناتٌ حديثةٌ وفّرتها مرْكَبَاتُ استكشاف المريخ الجوالة[4]، التي أطلقتها الوكالة ناسا، تؤيد شكوكًا سابقة تذهب إلى أن الماء كان يجري، بطريقة متقطعة على الأقل، على الكوكب الأحمر في وقت سابق من تاريخه. ولن يكون من غير المعقول افتراضُ وجودِ حياة على المريخ قبل زمن بعيد، واحتمال استمرارِها هناك. وربما نشأت حياة على يوروپا[5] الذي يشغل المرتبة الرابعة في الكبر بين أقمار المريخ، والذي يبدو أنه يحوي ماء سائلا تحت سطحه الجليدي. ثم إن تيتان، أكبر أقمار زحل، غني بالمركَّبات العضوية؛ ولما كانت تسود هذا القمرَ درجاتُ حرارة منخفضة جدا، فمن المستغرب كثيرا العثور على أشكال حيّة هناك، لكنْ لايمكن نَفْيُ وجودِها. وقد تجد الحياةُ موطئَ قدم لها على كوكب الزّهرة الحار. فمع وجود احتمال بأن تحوُّلَ حرارةُ سطحِ المريخِ العالية جدا والضغطُ المرتفعُ جداً الذي

(*) DID LIFE COME FROM ANOTHER WORLD?
(1) microorganisms
(2) abiogenesis
(3) biosphere
(4) Mars Exploration Rovers
(5) Europa

يرزح هذا السطح تحته، دون صلاحيته للحياة، من الممكن تصوُّر دَعم هذا الكوكب لحياة ميكروبية في أعالي غلافه الجوي. والأكثر احتمالا هو أنّ أحوال الحرارة والضغط على سطح الزُّهرة لم تكنْ قاسيةً جدا دائما، وأنها كانت، في وقت من الأوقات، شبيهة جدا بتلك التي كانت سائدة على سطح أرضنا في المراحل المبكرة من تاريخها.

إلى ذلك، لا تمثل الامتدادات الواسعة للفضاء بين الكواكب حواجز منيعة كما كان يُظن سابقا. ففي السنوات العشرين الماضية، توصلّ العلماء إلى أنّ أكثر من 30 نيزكا وُجدت على أرضنا جاءت من قشرة المريخ، وقد استندوا في نتيجتهم هذه إلى تركيب الغازات المحصورة داخل بعض تلك الصخور النيزكية. وفي الوقت نفسه، اكتشف البيولوجيون **كائنات حية** organisms ساعدتها قوة تحملها على البقاء حية بعد قطعها رحلة قصيرة على الأقل وهي داخل هذه النيازك. ومع أنه لا يستطيع أحد الجزم بأن هذه الكائنات الحية الخاصة قامت فعلاً بهذه الرحلة، فإنها تصلح لتقدم دليلا على المبدأ. وليس من غير المعقول أن تكون الحياة نشأت على المريخ ثم انتقلت إلى الأرض، أو أن يكون العكس قد حدث. ويجري العلماء حاليا دراسات جادة لانتقال مواد بيولوجية بين الكواكب، كي يتوصلوا إلى إدراك أفضل لاحتمال حدوث مثل هذا الانتقال في أي وقت مضى. وقد تسلّط جهودُهم هذه الضوءَ على عدد من أكثر التساؤلات العلمية الحديثة إلحاحا مثل: أين نشأت الحياة، وكيف؟ هل وجود أشكال من الحياة، يختلف بعضها عن بعض جذريا أمر ممكن؟ ما مدى شيوع الحياة في الكون؟

من الفلسفة إلى المختبر(**)

كان قدماء الفلاسفة يرون أنّ خلق الحياة من مادة غير حيّة يبدو أمرا أقرب إلى السحر، وفضّل بعضهم فكرة وصول أنماط حيّة موجودة في مكان آخر إلى الأرض. فقد وضع «أناكساگوراس»[1] [الفيلسوف اليوناني، الذي عاش قبل 2500 سنة] فرضية سماها باليونانية «پانسپيرميا»[2] (أي «جميع البزور») مفادها أن الحياة كلها، بل جميع الأشياء، خُلقَتْ من مجموعة من بزور بالغة الصغر تغشى الكونَ. وفي الأزمنة الحديثة، انبرى كثير من العلماء الطليعيين ـ منهم الفيزيائي البريطاني <L. كلفن> والكيميائي السويدي <S. أرّينيوس> و<F. كريك> [أحد المشاركيْن في اكتشاف بنية **الدنا** DNA] لتقديم تصورات متنوعة للپانسپيرميا. ومن المؤكد أنه وُجد أيضا لهذه الفكرة أنصار أقل شهرة، لكن ذلك لا يقلل من حقيقة كون الپانسپيرميا فرضية غاية في الأهمية، إذ إنها ظاهرة محتملة، علينا ألاّ نتجاهلها عند التعرض لانتشار الحياة ونشوئها وتطورها في الكون، ولكيفية نشوء الحياة على الأرض بوجه خاص.

وتعالج فرضية الپانسپيرميا، في صيغتها الحديثة، كيفية وصول المادة البيولوجية إلى كوكبنا، لكنها لا تتحدث عن كيفية نشوء الحياة أولا. وبصرف النظر عن المكان الذي نشأت فيه الحياة، فإنه يتعين عليها أن تنشأ عن مادة غير حية. وقد انتقل موضوع التخليق الحيوي من الميدان الفلسفي إلى التجريبي في الخمسينات من القرن العشرين، عندما أثبت الكيميائيان <L. S. ميلر> و<H. C. أوري> [من جامعة شيكاغو] أنه يمكن توليد الأحماض الأمينية وجزيئات أخرى مهمة للحياة من مركّبات بسيطة يُعتقد أنها كانت موجودة على الأرض في مراحلها المبكرة. ويُظن الآن أن جزيئات **الرّنا** RNA ربما تجمعت من مركّبات صغيرة وأدّت دورا رئيسيا في تطور الحياة.

وفي خلايا هذه الأيام، تساعد جزيئاتٌ متخصصةٌ من الرّنا على تكوين البروتينات. وتؤدي بعض **الرناوات** RNAs دور مراسيل بين الجينات، المكوّنة من الدنا و**الريبوزومات** ribosomes، وهي معامل تصنيع الخلية. وهناك رناوات أخرى تجلب الأحماض الأمينية ـ وهي اللّبنات المكوّنة للبروتينات ـ إلى الريبوزومات، التي تحتوي بدورها شكلا آخر من الرنا. وتعمل الرناوات بانسجام مع إنزيمات البروتين التي تساعد على وصْل الأحماض الأمينية بعضها ببعض، لكن الباحثين وجدوا أن الرناوات في الريبوزومات تستطيع وحدها أن تنجز الخطوة الحاسمة للاصطناع البروتيني[3] وفي المراحل المبكرة من نشوء الحياة، ربما كانت الإنزيمات جميعها **هي** رناوات وليست پروتينات. ولما كان من المحتمل أن تكون الإنزيمات الرناوية هي التي صنعت البروتينات الأولى دون حاجة إلى إنزيمات موجودة سابقا لاستهلال هذه السيرورة، فإن التخليق الحيوي ليس مسألة البيضة والدجاجة كما كان يُظَنُّ سابقا. ومن الممكن أن يكون نظام **قبحيوي** (**قبل حيوي**) prebiotic للرناوات والبروتينات قد طَوَّر تدريجيا القدرة على مضاعفة أقسامه

نظرة إجمالية/ حياة أتت من الفضاء(*)

- تذهب فرضية الپانسپيرميا إلى أن الخلايا الحية، أو أسلافها، ربما نشأت على كوكب أو قمر آخر قبل بلايين السنين، ثم قامت برحلة إلى الأرض على متن نيزك.
- لقد انسلخ جزء صغير من الصخور عن المريخ نتيجة صدم الكوكب بنيازك أو مذنبات، ومن المحتمل أن تكون هذه الصخور قد وصلت إلى الأرض بعد مرور بضع سنوات فقط على حادثة الصدم.
- يخطط الباحثون لتقييم احتمال صحة فرضية الپانسپيرميا، وذلك بدراسة إمكان بقاء الأحياء الميكروبية على قيد الحياة بعد قيامها برحلة بين الكواكب.

(*) Overview / Life from Space
(**) From Philosophy to the Laboratory
(1) Anaxagoras
(2) panspermia
(3) protein synthesis

قطار سريع بين الكواكب(*)



في كل بضعة ملايين من السنين يضرب المريخَ نيزكٌ أو مذنبٌ بقوة تكفي لسلخ صخور عنه يمكنها التغلب على ثقالة الكوكب الأحمر لتصل في نهاية المطاف إلى الأرض. وإذا نشأت حياة على المريخ قبل بلايين السنين، فمن الممكن تصور أن الصخور المحتوية على موادّ بيولوجية قد أنجزت رحلتها إلى الأرض بسرعة تكفي لتزرع فيها بزور هذه المواد الآتية من خارجها.

وحتى في الصدمات العنيفة، يمكن لبعض الصخور وجسيمات الغبار القريبة من سطح المريخ أن تنطلق من هذا الكوكب من دون أن ترتفع درجات حرارتها إلى مستوى يسمح بتدمير الميكروبات القابعة في تلك الصخور أو جسيمات الغبار.

إن معظم الصخور الآتية إلى الأرض من خارجها تُمضي وقتا طويلا في الفضاء، فقد استغرق أشهَرُ نيزك مريخيّ ALH84001 (*في الأعلى*) 15 مليون سنة في رحلته. لكن واحدا فقط من كل عشرة ملايين جسم يبلغ الأرض في أقل من سنة واحدة، وهذا يقلّل إلى الحد الأدنى من تعرّض مثل هذا الجسم إلى الإشعاعات المنتشرة بين الكواكب.

إن دخول نيزك إلى الغلاف الجوي للأرض قد يسخن سطحه، ولا يُسخن داخله، ومن ثم فإن أي ميكروبات موجودة داخل صخرة هذا النيزك تظل على قيد الحياة. وقد تتفادى جسيمات الغبار تسخينها وذلك بتبطيء سرعتها.

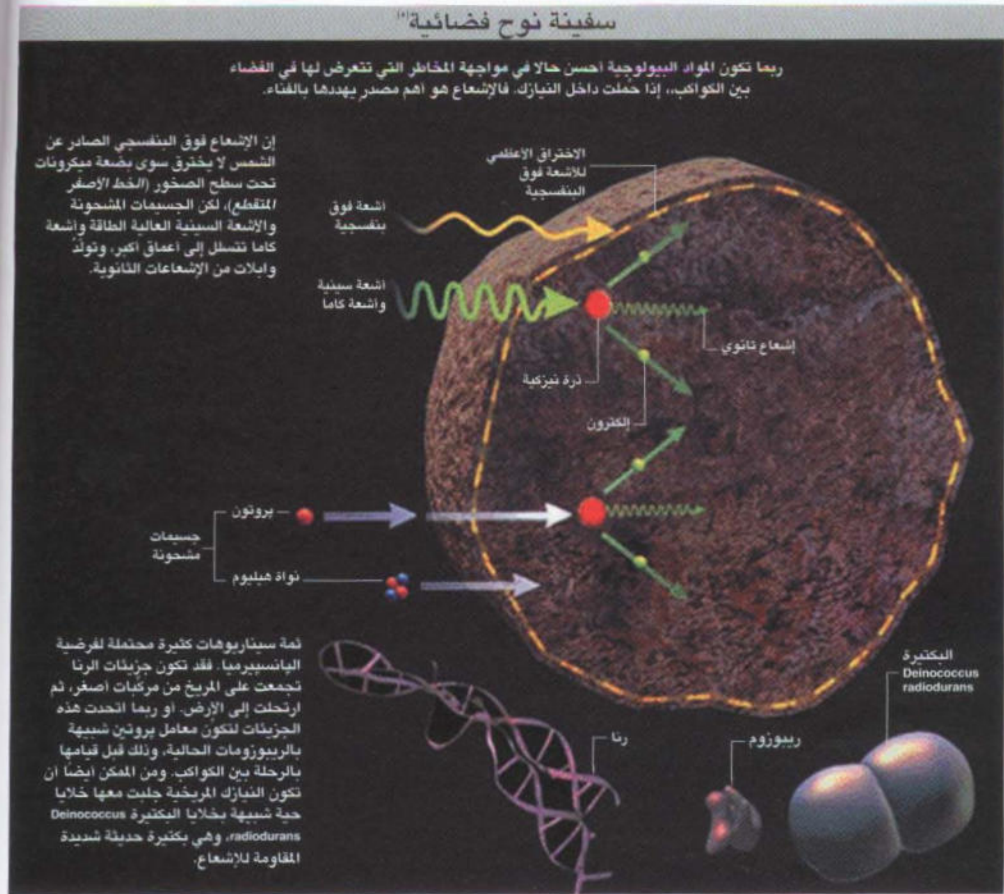
الجزيئية، بطريقة غير متقنة في بادئ الأمر، لكنها صارت أكثر فعالية مع مرور الوقت.

إن هذا الفهم الجديد لأصول الحياة غيّر الحوارَ العلميَّ حول الپانسپيرميا، فلم يَعُدْ يدور حول ما إذا كانت الميكروبات الأولى نشأت على الأرض، أو وصلت إليها من الفضاء. وفي التاريخ المبكّر المشوّش للمنظومة الشمسية، كان كوكبُنا عرضةً لقصف كثيف بنيازك حاوية على مركّبات عضوية. ومن المحتمل أن تكون الأرض الفتيّة تلقّت أيضا جزيئات أكثر تعقيدا لها وظائف إنزيمية، وهي جزيئات كانت قبحيوية (قبل حيوية)، لكنها جزء من منظومة كانت تشق طريقها إلى البيولوجيا. وبعد أن حطّت هذه الجزيئات في موقع ملائم للحياة على كوكبنا، فقد تكون واصلت تطورها إلى خلايا حيّة. وبعبارة أخرى، من الممكن حدوث سيناريو متوسط، بمعنى أنه ربّما كان للحياة جذور في الأرض والفضاء كليهما. لكنْ ما هي المراحل التي حدثت في تطور الحياة، وأين؟ وبعد أن ترسّخت الحياة، ما هو مدى انتشارها؟

لقد اعتاد العلماء الذين يدرسون الپانسپيرميا أن يركّزوا فقط على تقييم معقولية الفكرة، بيد أنهم اتجهوا أخيرًا إلى تقدير احتمال أن تكون المواد البيولوجية انتقلت إلى أرضنا من كواكبَ وأقمار أخرى. وكي تبدأ هذه المواد رحلتَها بين الكواكب، يتعيّن قذفُها من الكوكب الذي انطلقت منه إلى الفضاء، نتيجة صدم مذنب أو كويكب لهذا الكوكب [*انظر الإطار في الأعلى*]. وخلال رحلة الصخور أو جسيمات الغبار المقذوفة عبر الفضاء، تكون بحاجة إلى **ثقالة** gravity كوكب أو قمر آخر كي تجذبها إليه. بعد ذلك، لابد أن تتباطأ سرعتها بقدر كاف لتسقط على سطح الكوكب أو القمر بعد

(*) The Interplanetary Express

سفينة نوح فضائية(*)



عبورها غلافه الجوي إنْ كان موجوداً. ومثل هذا الانتقال يحدثُ كثيرا ضمن المنظومة الشمسية، مع أنه من الأسهل للمواد المقذوفة أن ترتحل من أجسام أبعد عن الشمس إلى أجسام أقرب منها، وأنّ من الأسهل للمواد أنْ ينتهي بها المطاف إلى جسم كتلته اكبر. وفي الحقيقة، توحي المحاكيات الدّينامية التي أجراها عالم الفيزياء الفلكية <B. كلادمان> [من جامعة كولومبيا البريطانية] بأن الكتلة التي انتقلت من الأرض إلى المريخ ليست سوى نسبة ضئيلة من الكتلة التي ارتحلت من المريخ إلى الأرض. ولهذا السبب، فإن السيناريو الأكثر شيوعا الذي تجري مناقشته يتضمن انتقال ميكروبات أو أسلافها من المريخ إلى الأرض.

وتشير محاكياتُ صدم الكويكبات أوالمذنبات للمريخ إلى أن المواد المنسلخة عنه يمكن إطلاقها إلى مجموعة واسعة من المدارات. وقد قدّر <كلادمان> وزملاؤه أن المريخ يتعرض كل بضعة ملايين من السنين لصدمة قوية بقدر يكفي لقذف صخور منه تصل في نهاية المطاف إلى الأرض. وعادة ما تكون هذه الرحلة بين الكواكب طويلة، إذ إن معظم المقذوفات المنطلقة من المريخ والتي تقارب كتلها طنا واحدا وتحطّ على الأرض كل سنة، تكون قد أمضت في الفضاء عدة ملايين من السنين. بيد أن ثمة نسبة ضئيلة من الصخور المريخية التي تصل إلى سطح الأرض ـ صخرة واحدة من عشرة ملايين تقريبا ـ تكون قد أمضت في الفضاء أقل من سنة. وخلال ثلاث سنوات من حادثة الصدم، يُكمل الرحلةَ من المريخ إلى الأرض نحو 10 صخور وزن كل منها أكثر من 100 غرام. أما الأنقاض التي هي أصغر من ذلك ـ كالصخور التي هي بحجم الحصيّات وجسيمات الغبار ـ فهي الأكثر احتمالا للقيام برحلة سريعة بين الكواكب؛ ونادرا ما تقوم الصخور الكبيرة برحلات كهذه.

(*) A Cosmic Noah's Ark

تُرى، هل تستطيع الكيانات البيولوجية النجاح في قطع هذه الرحلة؟ لننظر أولا فيما إذا كانت الأحياء الميكروية قادرة على الحياة خلال عملية القذف من الكوكب الذي انطلق منه النيزك؟ لقد وجدت تجارب صدم مختبرية حديثة أن سلالات معينة من البكتيريا تستطيع أن تتحمل التسارعات ومعدلات التغيرات في التسارعات التي تواجهها خلال عملية قذف نموذجية عالية الضغط من المريخ. فمن المهم جدا مع ذلك، ألا يعمل الصدم والقذف على تسخين النيازك إلى حد يكفي لتدمير المواد البيولوجية الموجودة داخلها.

كان جيولوجيو الكواكب يعتقدون بأنه إذا سارت أي مقذوفات منطلقة من المريخ نتيجة صدمه بجسم آخر بسرعات أعلى من سرعة الإفلات[1] المريخية، فلا بد أن تتبخر أو على الأقل أن تنصهر كليا. لكن هذه الفكرة من دون أن تتشوه نسبيا.

لننظر، بعد ذلك، في قابلية البقيا[3] خلال الدخول في الغلاف الجوي للأرض. لقد بيّن <E. أندرز> [الباحث سابقًا في معهد <E. فرمي> بجامعة شيكاغو] أن جسيمات غبار الكواكب تُبطئ من سرعتها باعتدال في الغلاف الجوي العلوي للأرض، وبهذا تتفادى التسخين. وفي المقابل، تتعرض النيازك لاحتكاك شديد، ومن ثم تنصهر سطوحُها نمطيا خلال عبورها الغلاف الجويّ. بيد أن الحرارة تتطلب وقتا لانتقالها بضعة مليمترات على الأكثر إلى داخل النيزك، لذا فإن الأحياء المطمورة في أعماق الصخر تظل حية.

وعلى مدى السنوات الخمس الماضية، نُشرت سلسلة من الأبحاث كتبها أحد مؤلفَيْ هذه المقالة <وايس> وزملاؤه، تمّ فيها تحليل

اكتُشفت حتى الآن، لم تُسخَّن إلى أكثر من بضع مئات من الدرجات السيلزية منذ أن كانت جزءا من سطح المريخ. أضف إلى ذلك أنه لما كانت النخليات صخورا بدائية محتفظة بنقائها الأصلي، وأنها لم تتعرض لموجات صدم عالية الضغط، فإن الصدم المريخي لم يرفع درجةَ حرارتها إلى أكثر من 100 درجة سيلزية.

إن كثيرا من طليعيات النوى[5] الأرضية وليس جميعها (وهي أحياء بسيطة ذات خلية واحدة، مثل البكتيريا، تفتقر إلى نواة محاطة بغشاء) ومن حقيقيات النوى[6] الأرضية (وهي أحياء ذات نوى جيدة التحديد)، تكون قادرة على البقاء على قيد الحياة في هذا المجال من درجات الحرارة. وكانت هذه النتيجة أول دليل تجريبي مباشر على أن المادة يمكن أن تنتقل من كوكب إلى آخر من دون أن تعقَّم حراريا في أي نقطة من مسار انتقالها.



ربما يكون المحيط الحيوي للأرض قد نشأ عن بزور أتتها من خارجها.

استُبعدت فيما بعد، وذلك عقب اكتشاف نيازك غير منصهرة وفي حالة جيدة جدا، أتتنا من القمر والمريخ. وقد قادت حسابات هذه الاكتشافات <H. J. ميلوش> [من جامعة أريزونا] إلى أنّ نسبة صغيرة من الصخور المقذوفة انطلقت من المريخ عن طريق صدمة من دون أي تسخين على الإطلاق. واختصارا، فقد اقترح <ميلوش> أنه عندما تصل موجة الضغط المتجهة نحو الأعلى والتي يحدثها الصدم، إلى سطح الكوكب، فإنها تتعرض لتغير في الطَّور قدره 180 درجة يُلغي تقريبا الضغط داخل طبقة رقيقة من الصخور الواقعة تحت السطح مباشرة. وبسبب تعرض هذه «المنطقة التشظيّة»[2] لانضغاط منخفض جدا في حين تخضع الطبقات الموجودة تحتها لانضغاط هائل، فمن الممكن أن تُقذَف الصخور القريبة من السطح بسرعات عالية

نمطين من النيازك المريخية: أولهما النخليات[4]، وهي مجموعة صخور سُلِخَتْ من المريخ نتيجة صدمه بكويكب أو مذنب قبل 11 مليون سنة، والآخر النيزك ALH84001، الذي غادر الكوكب الأحمر قبل ذلك بأربعة ملايين سنة (أصبح النيزك ALH84001 مشهورا عام 1996، عندما ادّعت مجموعة من العلماء بقيادة <D. ماك كيي> [من مركز جونسون الفضائي التابع للوكالة ناسا] أنّه ظهر على هذه الصخرة آثار أحياء ميكروية متحجِّرة شبيهة بالبكتيريا الأرضية؛ وعلى الرغم من مرور عقد على ذلك، مازال الباحثون يتجادلون فيما إذا كان هذا النيزك يحمل أدلة على وجود آثار حياة مريخية عليه.) ولدى دراسة الخصائص المغنطيسيّة للنيازك وتركيب الغازات المحصورة داخلَها، توصلَ <وايس> وزملاؤه إلى أن النيزك ALH84001 واثنين على الأقل من النخليات السبعة التي

مشكلة الإشعاع[*]

بيد أنه كي تحدث البانسبيرميا، يجب أن تبقى الأحياء الميكروية على قيد الحياة ليس فقط عند قذفها من الكوكب الأول ودخولها إلى الغلاف الجوي للكوكب الثاني بل أيضا خلال الرحلة ذاتها بين الكواكب. فالنيازك وجسيمات الغبار الحاملة للحياة تتعرض لخلاء الفضاء، وللتطرّفات في درجات الحرارة، ولأنواع مختلفة أخرى من الإشعاع. والأهم، بوجه خاص، ضوء الشمس فوق البنفسجي العالي الطاقة الذي يحطّم الروابط التي تُبْقي ذرات كربون

(*) The Problem of Radiation
(1) escape velocity
(2) spall zone
(3) survivability
(4) nakhlites
(5) prokaryotes
(6) eukaryotes

الجزيئات العضوية متماسكة. لكن الوقاية من الأشعة فوق البنفسجية سهلة جدا، إذ يكفي مجرد بضعة أجزاء من المليون من المتر من مادة معتمة لوقاية البكتيريا.

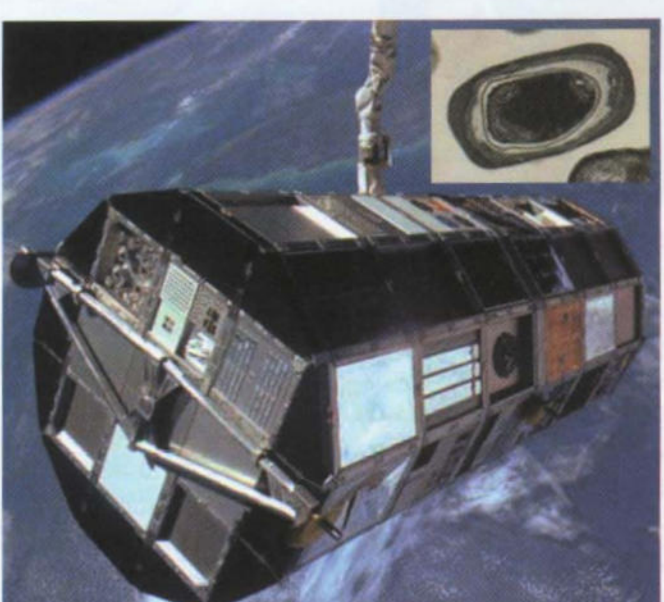
وفي الحقيقة، فقد بيّنت دراسة أوروبية تستخدم الساتل[1] LDEF ـ التابع للوكالة ناسا، والذي أطلقه المكوك الفضائي عام 1984 واستُرْجِعَ من مداره بوساطة المكوك بعد ست سنوات ـ أن غلافا رقيقا من الألمنيوم وفّر درعا مناسبا لوقاية أبواغ[2] البكتيريا من النوع *Bacillus subtilis*. ومن بين **الأبواغ** spores التي يحميها الألمنيوم، والتي هي مع ذلك معرضة لتطرّفات خلاء الفضاء ودرجة حرارته، ظلّ 80 في المئة منها عيوشا[3] ـ وفي نهاية البعثة، أعاد الباحثون تنشيطها إلى خلايا بكتيرية فاعلة. وفيما يتعلق بالأبواغ غير المغطّاة بالألمنيوم ـ وبذلك تكون معرضة لأشعة الشمس فوق البنفسجية ـ فقد تلف معظمُها، لا جميعها.

وقد بقي على قيد الحياة واحد من كل عشرة آلاف من الأبواغ غير المحمية بالألمنيوم، كما زاد وجود مواد مثل الكلوكوز والأملاح من معدلات بقائها على قيد الحياة. وتجدر الإشارة إلى أنه حتى في حال جسم صِغَرُه يعادل صغر جسيم من الغبار، فإن أشعة الشمس فوق البنفسجية لا توفر بالضرورة تعقيما كاملا لمستعمرة ميكروبية فيه. وإذا كانت المستعمرة موجودة داخل جسم كبير بحجم الحصيّة، ازدادت وقاية الأشعة البنفسجية ازديادا حادا.

هذا وإن الدراسة التي أجريت باستخدام الساتل LDEF نُفِّذت عندما كان الساتل في مدار أرضي منخفض، ومن ثم كان موجودا داخل الحقل المغنطيسي الواقي للأرض. لذا فإن هذه الدراسة لا توفر الكثير من المعلومات عن آثار الجسيمات المشحونة الموجودة بين الكواكب والتي لا تستطيع اختراق غلاف الأرض المغنطيسي[4]. وتولّد الشمسُ، من وقت إلى آخر، دفقات من الأيونات والإلكترونات الطاقيّة. إضافة إلى ذلك، فإن الجسيمات المشحونة هي مركّبة رئيسية للإشعاع الكونيّ المجري الذي يقوم دائما بقصف منظومتنا الشمسية بوابلاته. إن وقاية الأشياء الحية من الجسيمات المشحونة، وأيضا من الأشعة العالية الطاقة، مثل أشعة كاما، أعقد من وقايتها من الأشعة فوق البنفسجية، إذ إن طبقة صخرية لا يتجاوز سمكها بضعة ميكرونات تقي من الأشعة فوق البنفسجية، في حين أن إضافة مزيد من وسائل الحجب تزيد جرعةَ أنماط أخرى من الإشعاع. والسبب هو أن الجسيمات المشحونة والفوتونات العالية الطاقة تتأثر مع مادة الحجب الصخرية، وهذا يولّد وابلات من الإشعاع الثانوي داخل النيزك.

قد تتمكن هذه الوابلات من الوصول إلى أي ميكروبات موجودة داخل الصخرة ما لم تكن الصخرة كبيرة جدا، أي ما لم يكن قطرها نحو مترين أو أكثر. وكما لاحظنا سابقا، فمن النادر جدا أن تقوم الصخور الكبيرة برحلات سريعة بين الكواكب. ومن ثم، فإضافة إلى الوقاية من الإشعاع فوق البنفسجي، ما يهمنا حقا هو درجة مقاومة الميكروب لجميع مركّبات الإشعاعات الفضائية، ومعرفة السرعة التي يسير بها النيزك الحامل للحياة من كوكب إلى آخر. وكلما قَصُرَت الرحلة، انخفضت الجرعة الكلية للإشعاع، ومن ثم ازدادت فرصة البقاء على قيد الحياة.

وفي الحقيقة، فإن البكتيرة *Bacillus subtilis* قوية بعض الشيء فيما يتعلق بمقاومتها للإشعاع. والأشد قدرةً على الاحتمال هو البكتيرة *Deinococcus radiodurans*، وهي نوع بكتيري اكتشفه في خمسينات القرن العشرين العالم الزراعي



حمل الساتل LDEF أبواغا spores من النوع البكتيري *Bacillus subtilis* [*الزاوية العليا اليمنى*] وبقيت في مدار الساتل ست سنوات. وقد وجد الباحثون أن غطاء رقيقا من الألمنيوم كان كافيا لتكوين درع واق للأبواغ من الأشعة فوق البنفسجية الضارّة، مما سمح لثمانين في المئة منها بالبقاء على قيد الحياة.

(1) Long Duration Exposure Facility

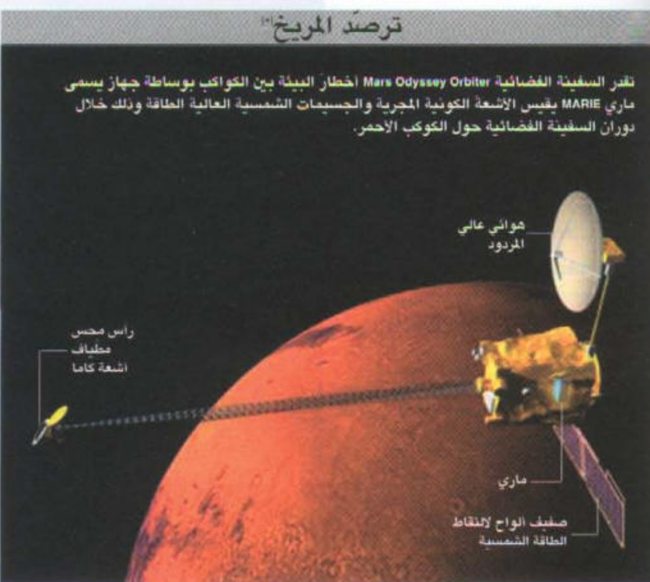
(2) spores جسم وحيد الخلايا، أو متعدد الخلايا لاجنسي يمكن أن يكون هاجعا أو تكاثريا، وهو مقاوم للبيئة غير الملائمة.

(3) viable

(4) magnetosphere

ترصّد المريخ(*)

تقدر السفينة الفضائية Mars Odyssey Orbiter أخطار البيئة بين الكواكب بوساطة جهاز يسمى ماري MARIE يقيس الأشعة الكونية المجرية والجسيمات الشمسية العالية الطاقة وذلك خلال دوران السفينة الفضائية حول الكوكب الأحمر.



<W. A. أندرسون>. ويتحمل هذا المتعضي الحيّ الجرعات الإشعاعية التي تُستعمل في تعقيم المنتَجات الغذائية، بل إنه ينمو حتى داخل المفاعلات النووية. هذا وإن الآليات الخلوية نفسها، التي تساعد البكتيرة *D. radiodurans* على ترميم الدنا التابع لها، تبني جدرانا من الخلايا ذات سُمْك إضافي، وتقي نفسها بطريقة أخرى من الإشعاع وتلطِّفُ أيضا الضرر الناجم عن التجفاف(1). ومن الناحية النظرية، فإذا كانت المتعضيات الحية التي تتمتع بمثل هذه القدرات مطمورة داخل المادة التي قُذِفَتْ من المريخ بالطريقة التي قذفت بها النخلياتُ والنيزك ALH84001 (أي من دون تسخين مفرط)، فإن بعض شُذَف تلك المتعضيات الحية سيظل عيوشا في الفضاء بين الكواكب بعد عدة سنوات، وربما بعد عدّة عقود.

بيد أن البقيا الفعلية الطويلة الأمد للمتعضيات الحية الناشطة أو الأبواغ أو الجزيئات العضوية المعقدة خارج غلاف الأرض المغنطيسي، لم يجر اختبارها قطّ. ومثل هذه التجارب، التي تضع المواد البيولوجية ضمن موادّ محاكية نيزكية، وتُعَرِّضُها لبيئة الفضاء بين الكواكب، يمكن إجراؤها على سطح القمر. وفعلا، فقد حملت بعثات أپولّو القمرية، بوصفها جزءا من انخراط أوروبي مبكر في دراسة الإشعاع، عينات بيولوجية. ومع ذلك، لم تستمر أطول بعثة لأپولو أكثر من 12 يوما، وقد أُبقيت العيّنات في سفينة أپولّو الفضائية، ومن ثم لم تتعرض لبيئة الإشعاع الفضائي كلها. وفي المستقبل، قد يضع العلماء رزمًا تجريبية على سطح القمر، أو يطلقونها في مدارات بين الكواكب مدة عشر سنوات قبل إعادتها إلى الأرض لإجراء تحاليل مختبرية عليها. وحاليا ينكب الباحثون على دراسة هذه المقاربات.

وفي الوقت الحاضر، ثمة دراسة طويلة الأمد ماضية قدما اسمها تجربة بيئة الإشعاع المريخي(2) (ماري MARIE). هذا وإن آلات (ماري) ـ التي أطلقتها الوكالة ناسا عام 2001 كجزء من السفينة الفضائية Mars Odyssey Orbiter ـ تقوم بقياس جرعات الأشعة الكونية المجرية والجسيمات الشمسية الطاقيّة خلال دوران السفينة الفضائية حول الكوكب الأحمر. ومع أن (ماري) لا تحتوي مواد بيولوجية، فإن محسَّاتها مصمّمة للتركيز على مدى الإشعاع الفضائي الذي يُحْدِث أكبرَ أذى للدنا.

دراسات مستقبلية(*)

بيّنا فيما سبق أن الپانسپيرميا مقبولة نظريا. إلى ذلك، فقد مهّدت سمات مهمة لهذه الفرضية السبيلَ للتحول من مجرد قبولها إلى اعتبارها علما كميا. وثمة أدلة نيزكية تبين أن المادة انتقلت بين الكواكب في جميع تاريخ المنظومة الشمسية، وأن هذه العملية مازالت جارية بمعدَّل حُدِّدَ تحديدا جيدا. أضف إلى ذلك أن ثمة دراسات مختبرية أظهرت أنه يُمكن لنسبة عالية من الأحياء الميكروية الموجودة ضمن قطعة من مادة كوكبية مقذوفة من كوكب بحجم المريخ، أن تظلّ على قيد الحياة بعد قذفها إلى الفضاء واختراقها الغلاف الجوي للأرض. إلاّ أنّ هناك جوانبَ أخرى من فرضية الپانسپيرميا يصعب فهمها. فالباحثون بحاجة إلى مزيد من البيانات ليحدّدوا ما إذا كانت المتعضيات الحية المقاومة للإشعاع، مثل البكتيرة *D. radiodurans* تستطيع العيش خلال رحلة بين الكواكب. بل إن هذا البحث لن يبيّن احتمالَ أنّ هذا حدث فعلا في حالة المحيط الحيوي للأرض؛ لأن هذه الدراسات تتضمن أشكال الحياة الأرضية الموجودة حاليا، أمّا المتعضيات الحية التي كانت تعيش قبل بلايين السنين فربما صارت أحوالها أحسن كثيرا أو أسوأ كثيرا.

إضافة إلى ذلك، لا يستطيع العلماء وضع تقدير عددي دقيق لاحتمال وجود الحياة حاليا، أو وجودها في وقت من الأوقات، على الكواكب باستثناء كوكب الأرض. وببساطة، لا يعرف الباحثون الكثير عن أصل أي نظام للحياة، بما في ذلك نظام الحياة على الأرض، ليستخلصوا نتائجَ

(*) Future Studies
(1) dehydration
(2) Martian Radiation Environment Experiment

التتمة في الصفحة 82

هل يمكننا دفن الاحترار العالمي؟(*)

لتجنب احترار الغلاف الجوي يمكن ضخ ثنائي أكسيد الكربون[1] في باطن الأرض، غير أن ذلك يتطلب منا مواجهة تحديات جساما.

<R. H. سوكولو>

عندما التقط <وليم شكسبير> أحد أنفاسه كان كل مليون جزيء من الهواء الداخل إلى رئتيه يحتوي على 280 جزيئا من ثنائي أكسيد الكربون. أما اليوم، فإن عدد جزيئات ثنائي أكسيد الكربون التي تدخل رئتيك مع كل نفس تتنفسه يصل إلى 380 جزيئا من كل مليون جزيء. وتزداد هذه النسبة بمعدل جزيئين في كل عام.

لا يعرف أحد على وجه الدقة العواقب التي ستترتب على هذه الزيادة السريعة في تركيز ثنائي أكسيد الكربون (CO_2) في الغلاف الجوي، أو الآثار التي ينتظر أن تترتب على دخول المزيد من هذا الغاز إلى الهواء في العقود القادمة ـ لقد اتخذ الإنسان من عالمنا هذا موضوعا لتجربة لا تحكمها أي ضوابط. ويدرك العلماء أن ثنائي أكسيد الكربون يتسبب في رفع درجة حرارة الغلاف الجوي، الذي يؤدي بدوره إلى ارتفاع منسوب الماء في البحار، وأن ثنائي أكسيد الكربون الذي تمتصه المحيطات يزيد من حموضة الماء. ولكنهم لا يعرفون على وجه اليقين الطريقة التي يمكن أن يتغير بها مناخ الأرض، والسرعة المحتملة لارتفاع

تستخدم في أبراج التجريد **stripper towers في مرفق جزائري للغاز الطبيعي في أعماق الصحراء الكبرى طرائق كيميائية لفصل ثنائي أكسيد الكربون عن الغاز الطبيعي الذي يصدر إلى الأسواق الأوروبية. بعد ذلك يضخ ثنائي أكسيد الكربون إلى عمق كيلومترين تحت الأرض.**

(*) CAN WE BURY GLOBAL WARMING?

(1) ثاني أكسيد الكربون.

مستوى الماء في البحار، وماذا يمكن أن تعني زيادة حموضة مياه المحيطات، وما هي الأنظمة البيئية البرية والبحرية التي ستكون أكثر تعرضا لخطر التغيرات المناخية، والطريقة التي يمكن أن تؤثر فيها هذه التطورات في صحة الإنسان ورفاهيته. فسلوكنا في الوقت الحالي يجعل التغير في المناخ يرتد علينا بوتيرة أسرع من أن ندرك معها قسوة هذه التغيرات.

لو أن إبطاء معدل تراكم ثنائي أكسيد الكربون في الجو كان أمرا سهلا لكنا بدأنا فيه بالفعل، ولو كان أمرا مستحيلا لكنا نعمل الآن من أجل التكيف مع عواقبه. والواقع أن تحقيق ذلك ليس بالأمر الهين، ولا هو بالأمر المستحيل، وإنما هو بين هذا وذاك. فإنجاز هذه المهمة أمر ممكن بوسائل نمتلكها بالفعل، ولكن ذلك لا يعني بالضرورة أنه عمل سهل، أو منخفض الكلفة، أو بعيد عن الجدل.

ولو استطاع المجتمع الدولي أن يجعل من أولوياته خفض انبعاثات ثنائي أكسيد الكربون، وهذا - في رأيي - ما ينبغي أن يقوم به للحد من مخاطر الدمار البيئي في المستقبل، فإنه سيتعين علينا استخدام استراتيجيات متعددة على الفور. فسيكون علينا أن نركز جهودنا على استخدام الطاقة بكفاءة أكبر، والاستعاضة عن الوقود الأحفوري (الفحم، النفط، الغاز الطبيعي - وهي المصادر الأولية لثنائي أكسيد الكربون الجوي الذي هو من صنع الإنسان) بمصادر الطاقة المتجددة غير الكربونية، أو الطاقة النووية. كما سيتعين علينا استخدام منهجية أصبحت تحظى باهتمام متزايد، وهي: احتجاز ثنائي أكسيد الكربون وخزنه، أو حجزه تحت الأرض بدلا من إطلاقه في الغلاف الجوي. فليس هناك ما يحتم انبعاث ثنائي أكسيد الكربون في الهواء. لقد جعلنا من الغلاف الجوي مستودعا رئيسيا لنفاياتنا، لأن التخلص من نواتج الاحتراق بوساطة المداخن الضخمة، وأنابيب صرف عوادم المحركات، ومداخن المباني هو أبسط الحلول وأقلها كلفة على المدى القصير. ويتمثل الجانب المشرق في المسألة في أن التقانة اللازمة لاحتجاز الغاز وخزنه موجودة فعلا، وأنه يمكن التغلب على العقبات التي تحول دون تنفيذها.

حجز ثنائي أكسيد الكربون(**)

تنتج من احتراق أنواع الوقود الأحفوري كميات ضخمة من ثنائي أكسيد الكربون. ومن حيث المبدأ، يمكن تركيب المعدات اللازمة لاحتجاز هذا الغاز حيثما تُحرق هذه الهيدروكربونات، غير أن بعض المواقع تكون أكثر ملاءمة لهذا الغرض من غيرها.

فإذا كانت سيارتك تستهلك غالونا من الوقود لكل 30 ميلا، وقدر لك أن تقطع بها 10 000 ميل حتى العام القادم، فإنك ستحتاج إلى شراء 330 غالونا - نحو طن - من الغازولين. ولكن إحراق هذه الكمية من الغازولين يؤدي إلى انبعاث ثلاثة أطنان من ثنائي أكسيد الكربون من ماسورة عادم السيارة. ورغم أن احتجاز ثنائي أكسيد الكربون قبل خروجه من السيارة وإعادته إلى محطة التزود بالوقود أمر يمكن التفكير فيه، فإنه لا يبدو أن ثمة طريقة عملية لإنجاز هذه المهمة. ومن ناحية أخرى، فمن الأكثر سهولة أن نعمل على احتجاز ثنائي أكسيد الكربون المنبعث من محطة ثابتة لتوليد الكهرباء تعمل بإحراق الفحم.

لا غرابة إذًا أن تركز الجهود التي تبذل حاليا على هذا النوع من المحطات، التي تعد مصدرا لربع الانبعاثات العالمية من ثنائي أكسيد الكربون. فمحطة طاقة كبيرة جديدة تعمل بالفحم (بقدرة 1000 ميغاواط)، تنتج ستة ملايين طن من الغاز سنويا (أي ما يعادل الانبعاثات الصادرة عن مليوني سيارة). ويمكن أن يتضاعف الناتج الإجمالي العالمي (وهو ما يعادل إنتاج 1000 محطة كبيرة تقريبا) في العقود القليلة القادمة مع إنشاء الولايات المتحدة، والصين، والهند، وبلدان أخرى كثيرة محطات جديدة لتوليد الطاقة، لتحل محل المحطات القديمة [*انظر الشكل في الصفحة 47*]. ومع ظهور محطات الفحم الجديدة في ربع القرن القادم، يمكن تصميمها هندسيا بحيث تقوم بترشيح ثنائي أكسيد الكربون الذي كان سيتصاعد عبر المداخن.

وتستطيع أي شركة لتوليد الكهرباء تخطط للاستثمار في إنشاء محطة جديدة تعمل بالفحم أن تختار بين نوعين من أنظمة الطاقة، وثمة نوع ثالث يجري تطويره ولكنه لم يتوافر بعد. ويمكن تعديل هذه الأنظمة الثلاثة لاحتجاز الكربون. وفي محطات الطاقة البخارية التقليدية التي تعمل بالفحم يجري إحراق الفحم بالكامل في خطوة واحدة في الهواء: فالحرارة المنبعثة تحول الماء إلى بخار تحت ضغط مرتفع، يدير عنفة (تربينة) بخارية تولد الكهرباء. وفي إحدى الصور غير المعدلة لهذا النظام - والذي كان عماد صناعة الطاقة من الفحم في القرن الماضي - يخرج خليط الغازات الناتجة من الاحتراق من مدخنة طويلة ويكون ضغط هذا الخليط بعد نزع الكبريت منه مساويا للضغط الجوي. ولا يشكل ثنائي أكسيد الكربون إلا 15 في المئة من غاز المدخنة. وتتكون معظم الغازات الأخرى من النتروجين وبخار الماء. ولتعديل هذه التقانة من أجل حجز ثنائي أكسيد الكربون، يمكن أن يشيد المهندسون برجا للامتصاص ليحل

نظرة إجمالية/ دفن CO_2(*)

- ثمة استراتيجية يمكن أن تجمع بين حجز انبعاثات ثنائي أكسيد الكربون من محطات توليد الطاقة التي تعمل بالفحم وحقنها بعد ذلك في التكوينات الجيولوجية لخزنها فترات طويلة. ويمكن أن تسهم هذه الاستراتيجية بشكل ملموس في الحد من زيادة تركيز ثنائي أكسيد الكربون في الغلاف الجوي.
- تعد التقانات المنخفضة الكلفة التي تستهدف الحصول على ثنائي أكسيد الكربون في محطات الطاقة وزيادة الخبرة في حقن ثنائي أكسيد الكربون لتجنب تسربه إلى سطح الأرض من العوامل الأساسية في نجاح المشاريع الكبرى لحجز ثنائي أكسيد الكربون وخزنه.
- لحسن الحظ، فإن الفرص كثيرة أمام الجهود التي تبذل لخزن ثنائي أكسيد الكربون وحجزه والتي يمكن تحمل كلفتها. إن لثنائي أكسيد الكربون قيمة اقتصادية إذا ما استخدم في تحسين استخراج النفط الخام من الحقول الناضبة. فتنقية الغاز الطبيعي والإنتاج الصناعي للهدروجين ينتجان ثنائي أكسيد الكربون بتكلفة منخفضة. وسوف تعزز المشاريع المبكرة للربط بين هاتين الصناعتين القدرات الفنية للعاملين فيهما، كما أنها ستكون حافزا لوضع القواعد التنظيمية التي تحكم طرائق خزن ثنائي أكسيد الكربون.

Overview/ Entombing CO_2 (*)
Carbon Dioxide Capture (**)

محطة مستقبلية لتوليد الكهرباء من الوقود الأحفوري(*)

تخيل مدينة افتراضية تنشأ في المستقبل على مقربة من محطة طاقة تعمل بتغويز الفحم قدرتها 1000 ميغاواط وجرى فيها خزن ثنائي أكسيد الكربون مدة عشر سنوات. وافترض أن هذه المدينة تحصل على الماء من مكمن مائي ضحل، لا يتأثر بحقن ثنائي أكسيد الكربون. ويقوم خط للسكة الحديدية بنقل الفحم إلى المحطة، كما تقوم خطوط الطاقة بنقل الكهرباء التي تولدها المحطة.

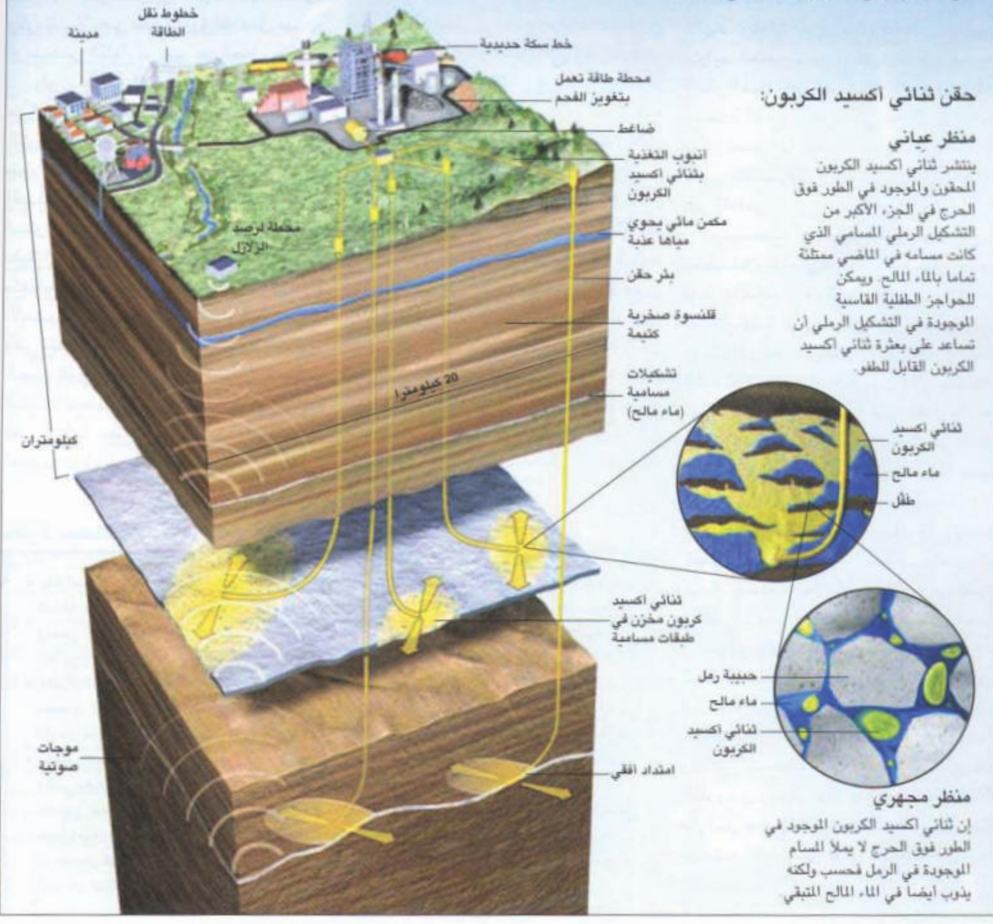
لقد جرى حجز نحو 60 مليون طن من ثنائي أكسيد الكربون في السنوات العشر الأولى من تشغيل المحطة. وخلال هذه المدة، استقرت ترسبات من ثنائي أكسيد الكربون على شكل فطيرة مسطحة كبيرة جدا في الطبقات المسامية في باطن الأرض. وكان يجري حقن ثنائي أكسيد الكربون في آبار أفقية في تشكيلين عميقين من الماء المالح، يقع كل منهما تحت قلنسوة صخرية كتيمة تقع على عمق يزيد على كيلومترين تحت سطح الأرض.

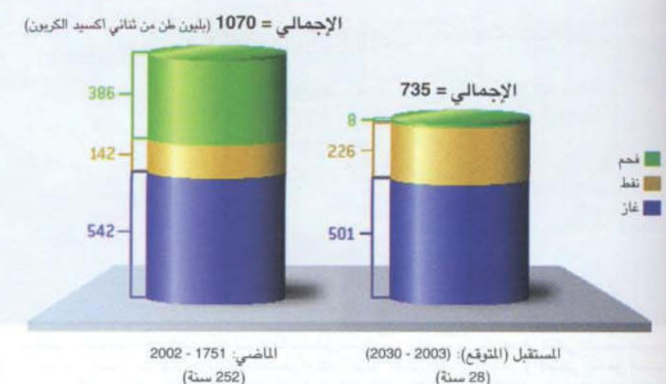
ويشغل ثنائي أكسيد الكربون ذو الضغط المرتفع الموجود في الطور فوق الحرج، والذي تبلغ كثافته سبعة أعشار كثافة الماء، نحو 90 مليون متر مكعب. وتشغل الفراغات المسامية 10 في المئة من حجم التشكيلين، ويمتلئ ثلث المسام بثنائي أكسيد الكربون [انظر: *الأشكال الملحقة للاطلاع على تفاصيل الطبقات المسامية*]. وقد ضُخَّ ثلثا الغاز المحقون في التشكيل العلوي الذي تبلغ ثخانته 40 مترا، في حين حقن ثلثه في التشكيل السفلي الذي تبلغ ثخانته 20 مترا. ونتيجة لذلك أصبحت المساحة (الأفقية) الإجمالية للصخر المسامي المشبَّع بثنائي أكسيد الكربون الموجود فوق الدرجة الحرجة في كل تشكيل نحو 40 كيلومترا مربعا.

ويلاحظ أن القياس الأفقي المستخدم مختلف عن القياس الرأسي، فعمق كل بئر من آبار الحقن وامتدادها الأفقي يكادان يتساويان في الطول فعلا، حيث يصل طولهما إلى كيلومترين. كما أن الإنشاءات المبينة لم تُرسم طبقا للأبعاد الفعلية.

ويقوم الفنيون المسؤولون عن محطات رصد الزلازل بمتابعة مواقع ثنائي أكسيد الكربون بإرسال موجات صوتية إلى باطن الأرض. وفي السنوات العشر الأولى لتشغيل محطة الطاقة تعرف مديرو المحطة الكثير من التفاصيل المتعلقة بجيولوجية المنطقة من ملاحظتهم طريقة انتشار ثنائي أكسيد الكربون في ربوعها. وسوف تساعدهم هذه المعلومات على تقرير ما إذا كانوا سيستمرون في حقن انبعاثات المحطة في الآبار نفسها، أو أنهم سيحفرون آبارا جديدة في التشكيلات نفسها، أو سينتقلون إلى تشكيلات جوفية بديلة.

(*) Future Fossil-Fuel Power Plant





إن الانبعاثات الصادرة عن محطات توليد الطاقة التي تعمل بالوقود الأحفوري المتوقع إنشاؤها في ربع القرن القادم تعادل خلال عمرها التشغيلي جميع الانبعاثات التي حدثت في الـ250 سنة الماضية. ويوضح *العمود الأيسر* انبعاثات ثنائي أكسيد الكربون التراكمية الناتجة من حرق الفحم والنفط والغاز الطبيعي في جميع الاستخدامات (بما فيها النقل وتدفئة المباني) من عام 1751 حتى 2002، في حين يمثل *العمود الأيمن* إجمالي انبعاثات ثنائي أكسيد الكربون من محطات توليد الكهرباء التي تعمل بالوقود الأحفوري التي تتوقع وكالة الطاقة الدولية إقامتها بين عام 2003 و 2030 وذلك خلال عمرها التشغيلي. ويفترض أن محطات توليد الكهرباء التي تعمل بالفحم يبلغ عمرها التشغيلي 60 عاما، في حين يبلغ العمر التشغيلي لتلك التي تعمل بالغاز 40 عاما.

محل المدخنة، فتلامس الغازات الناتجة من الاحتراق في هذا البرج قطيرات من مواد كيميائية تسمى الأمينات تمتص ثنائي أكسيد الكربون دون غيره من الغازات. وفي عمود تفاعل ثان يعرف **ببرج التجريد** stripper tower يجري تسخين الأمينات السائلة لتحرير ثنائي أكسيد الكربون المركز وإعادة توليد المادة الكيميائية الماصة لاستخدامها من جديد.

وفي النظام الآخر المتوافر لتوليد الكهرباء من الفحم، والذي يعرف باسم **وحدة الدورة المجمّعة لتغويز الفحم** coal gasification combined-cycle unit، تبدأ العملية بإحراق الفحم جزئيا بوجود الأكسجين في غرفة **تغويز لإنتاج غاز صنعي** synthetic gas or syngas ـ يتكون أساسا من الهدروجين وأحادي أكسيد الكربون المضغوطين. وبعد نزع مركبات الكبريت والشوائب الأخرى، تقوم المحطة بإحراق الغاز الصنعي في الهواء في عنفة غازية ـ وهي محرك نفاث معدَّل ـ لإنتاج الكهرباء. ويستفاد من حرارة الغازات العادمة الخارجة من العنفة الغازية في تحويل الماء إلى بخار، يوجه إلى عنفة بخارية لتوليد طاقة إضافية، ثم يخرج عادم العنفة الغازية من المدخنة. ولاحتجاز الكربون الخارج من مثل هذه المحطة، يضيف الفنيون بخار الماء إلى الغاز الصنعي لتحويل معظم أحادي أكسيد الكربون إلى ثنائي أكسيد الكربون وهدروجين. ثم يقوم نظام الدورة المجمعة بعد ذلك بترشيح ثنائي أكسيد الكربون قبل إحراق الغاز المتبقي، بعد أن أصبح معظمه مكونا من الهدروجين، لتوليد الكهرباء من عنفة غازية وأخرى بخارية.

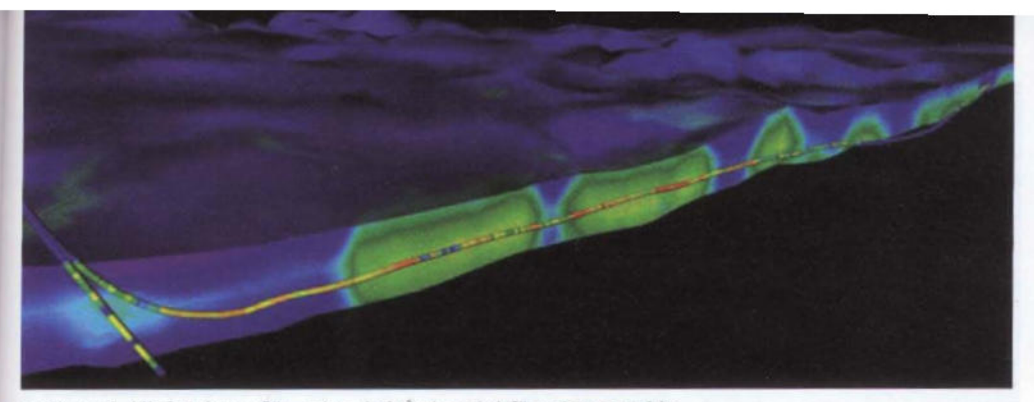
وتعتمد الطريقة الثالثة لتوليد الكهرباء من الفحم، والتي تسمى طريقة الحرق الأكسجيني للوقود، على إنجاز عملية الإحراق بالكامل في الأكسجين بدلا من الهواء. وفي إحدى صور هذه الطريقة ينجز الاحتراق في خطوة واحدة بإحراق الفحم في الأكسجين، فينتج من ذلك غاز خال من النتروجين، يتكون من ثنائي أكسيد الكربون وبخار الماء فقط، وهما من المكونات التي يسهل فصلها. وثمة صورة أخرى يجري فيها تعديل نظام الدورة المجمعة لتغويز الفحم باستخدام الأكسجين، بدلا من الهواء، في عنفة غازية لإحراق خليط أحادي أكسيد الكربون والهدروجين الخارجين من وحدة التغويز[1]. وتجري هذه العملية من دون المرور بخطوة التفاعل الانتقالي فلا ينتج منها إلا ثنائي أكسيد الكربون وبخار الماء. إلا أنه لم تتوافر حتى الآن مواد البناء التي يمكن أن تتحمل درجات الحرارة المرتفعة التي تنشأ عن الاحتراق في الأكسجين بدلا من الهواء. ويبحث المهندسون الآن فيما إذا كان خفض درجة حرارة العملية بإعادة تدوير عوادم الاحتراق يمكن أن يسمح لهم بالالتفاف على القيود المتعلقة بمواد البناء.

قرارات صعبة(*)

إن تعديل الأنظمة من أجل احتجاز ثنائي أكسيد الكربون لا يؤدي إلى زيادة تعقيد العملية ورفع تكلفتها بصورة مباشرة فحسب، بل إنه يحد أيضا من كفاءة استخلاص الطاقة من الوقود. وبعبارة أخرى، فإن عملية الحجز الآمن للنواتج العرضية لاحتراق الكربون تعني استخراج المزيد من الفحم من المناجم وحرقه. ويمكن توفير جانب من هذه التكاليف إذا استطاعت محطة توليد الطاقة عزل الكبريت الغازي في الوقت نفسه وخزنه مع ثنائي أكسيد الكربون، فتتجنب بذلك جزءا من النفقات الكبيرة لمعالجة الكبريت.

ويعمل المديرون التنفيذيون لمحطات الطاقة على تعظيم الأرباح طوال عمر المحطات، الذي قد يصل إلى 60 سنة أو أكثر، لذا يتحتم عليهم الأخذ بالحسبان كلفة الالتزام بقوانين البيئة الحالية، بل وبالقوانين التي ستسنّ في المستقبل. ويعرف المديرون أن التكاليف الإضافية لاحتجاز ثنائي أكسيد الكربون قد تكون أقل كثيرا في محطات الدورة المجمّعة لتغويز الفحم منها في المحطات التقليدية. وتكون عملية إزالة ثنائي أكسيد الكربون عادة أقل كلفة تحت الضغوط المرتفعة، كما يحدث في عملية الغاز الصنعي، لأنه يحتاج إلى معدات أصغر حجما. لكنهم يدركون أيضا أن عدد مصانع التغويز التي تعمل الآن قليل، وهي مقامة بغية العرض فقط، فاختيار التغويز كبديل سوف يتطلب إنفاق المزيد على المعدات الاحتياطية لضمان الموثوقية. ومن هنا، فإن الإدارة إذا راهنت على عدم اضطرارها إلى دفع تكلفة انبعاثات ثنائي أكسيد الكربون إلا في مرحلة متأخرة من عمر المحطة الجديدة، فإنها قد تختار استخدام محطة تقليدية تعمل بالفحم، رغم أنها قد تكون من النوع الذي يمكن تعديله في وقت لاحق لاحتجاز

(*) Tough Decisions
(1) gasifier



كشفت مجموعتان من القياسات مسامية تشكيل جيولوجي بالقرب من بئر لحقن ثنائي أكسيد الكربون (الأنابيب الرقيقة) في حقل كريشبا بالصحراء الجزائرية. (يمثل اللونان الأحمر والأصفر المناطق العالية المسامية في المستودع الذي سمكه 20 مترا؛ ويشير اللون الأزرق إلى المناطق المنخفضة المسامية). استعمل مهندسو الشركة BP التحديد التقريبي للطبقات الجيولوجية المشتق من سبر الموقع بالصدى السيزمي، لتعيين أفضل مكان لحفر البئر. وكشف مسبار استشعار كهربائي جرى إنزاله داخل البئر ليعطي صورة أكثر دقة للمسامية (تظهر فيها المسام كخرزات ملونة)، عن المسامية ضمن عدة سنتيمترات من البئر. واستخدم المهندسون هذه القراءات الأكثر دقة للبحث عن المناطق العالية المسامية وتوجيه جهاز الحفر نحوها.

الكربون. ومع ذلك، فإذا تراءى لها أن التوجيهات الحكومية المتعلقة بحجز ثنائي أكسيد الكربون سوف تطبق خلال عشر سنوات أو نحو ذلك، فإنها قد تفضل استخدام محطة لتغويز الفحم.

ولتعرف ما يمكن أن تسببه التكلفة الإضافية لحجز الكربون من عبء مادي يقع على منتجي الفحم، ومشغلي محطات الطاقة، ومالكي البيوت المستهلكين للكهرباء، يمكن اختيار تقدير معقول للتكلفة ثم قياس الآثار. وطبقا لحسابات الخبراء، فإن التكلفة الإضافية الإجمالية لاحتجاز واختزان طن من ثنائي أكسيد الكربون في محطة تعمل بنظام الدورة المجمّعة لتغويز الفحم سوف تصل إلى نحو 25 دولارا (والواقع أنها قد تصل إلى ضعف هذا الرقم في المحطة البخارية التقليدية التي تستخدم التقانة الحالية. وفي كلتا الحالتين، فإن التكلفة ستنخفض عندما تتوافر تقانة جديدة).

وثمة اختلاف كبير في نظرة كل من منتج الفحم، ومشغل محطة الطاقة، ومالك البيت إلى التكلفة البالغة 25 دولارا. فمنتج الفحم سوف يعتبر أن عبئا إضافيا يبلغ نحو 60 دولارا لكل طن من الفحم يُفرض لغرض احتجاز واختزان الكربون المنبعث، سوف يرفع تكلفة الفحم المسلم لزبون محطات الكهرباء إلى ثلاثة أضعافها، ويجعل مالك محطة قوى جديدة تعمل بالفحم يواجه ارتفاعا في تكلفة الطاقة قد يصل إلى 50 في المئة. وستقوم المحطة بتحميل هذا العبء المادي على عاتق الشبكة، لتصل إلى نحو 2 سنت لكل كيلوواط/ ساعة زيادة على التكلفة الأساسية وهي 4 سنتات لكل كيلوواط/ ساعة تقريبا. أما مالك البيت، الذي يشتري الكهرباء المولدة من الفحم وحده، والذي يدفع الآن 10 سنتات لكل كيلوواط/ ساعة في المتوسط، فسيشعر بزيادة في تكاليف الكهرباء، تصل إلى الخمس (هذا إذا جرى تقاضي التكلفة الإضافية وقدرها 2 سنت لكل كيلوواط/ ساعة مقابل الاحتجاز والاختزان دون زيادة في رسوم النقل والتوزيع).

الخطوة الأولى والخطوات المستقبلية(*)

بدلا من الانتظار إلى حين إنشاء محطات طاقة جديدة تعمل بالفحم للبدء باحتجاز ثنائي أكسيد الكربون وخزنه، فقد بدأ كبار رجال الأعمال باستخدام هذه العملية في المرافق القائمة التي تنتج الهدروجين للصناعة أو تقوم بتنقية الغاز الطبيعي (الميثان) لأغراض التدفئة وتوليد الكهرباء. وتولد هذه العمليات في الوقت الراهن تيارات مركزة من ثنائي أكسيد الكربون. وتتضمن عمليات التصنيع المخصصة لإنتاج الهدروجين والمتوضعة في مصافي النفط ومصانع الأمونيا، نزع ثنائي أكسيد الكربون من خليط ذي ضغط مرتفع من ثنائي أكسيد الكربون والهدروجين مع ترك ثنائي أكسيد الكربون ينطلق في الجو. ويتعين على مصانع تنقية الغاز الطبيعي نزع ثنائي أكسيد الكربون لأن الميثان سيتجه إلى ناقلة للغاز الطبيعي المسيل ويجب أن يكون خاليا من ثنائي أكسيد الكربون الصلب البارد (الثلج الجاف) الذي يمكن أن يتسبب في انسداد النظام، أو لأن تركيز ثنائي أكسيد الكربون أعلى (أكثر من 3 في المئة) من الحد المسموح به في التوزيع على شبكة الغاز الطبيعي.

ويدرس قطاع صناعة النفط والغاز اليوم العديد من مشاريع حجز ثنائي أكسيد الكربون باستعمال تلك المصادر. إن إنتاج الهدروجين وتنقية الغاز الطبيعي هما المنطلقان الأوليان لحجز الكربون بالكامل في محطات الطاقة؛ وينتج عالميا في هاتين الصناعتين نحو 5 في المئة من ثنائي أكسيد الكربون الناتج من توليد الطاقة الكهربائية.

واستجابة للطلب المتزايد على النفط المستورد لتزويد المركبات بالوقود، اتجهت بعض البلدان، كالصين، إلى الفحم لاستعماله خاما لإنتاج وقود صنعي يستعمل بديلا من الغازولين والديزل. ويعد ذلك، من منظور التغيرات المناخية، خطوة إلى الوراء، لأن حرق الوقود الصنعي القائم على الفحم بدلا من الغازولين في القيادة مسافة معينة يطلق تقريبا ضعف كمية ثنائي أكسيد الكربون، إذا أخذت في الحسبان الانبعاثات الصادرة عن أنابيب تصريف العادم ومصانع الوقود المحضر صنعيا. ففي إنتاج الوقود المحضر صنعيا من الفحم يتحول نصف الكربون الموجود في الفحم فقط إلى وقود في النهاية، في حين ينطلق النصف الآخر إلى الجو من

(*) First and Future Steps

المحطة. ويمكن أن يعدل المهندسون تصميم محطة الوقود المحضر صنعيا من الفحم بحيث يساعد على حجز انبعاثات ثنائي أكسيد الكربون من المحطة. وقد تسير السيارات مستقبلا بالكهرباء أو بالهدروجين الخالي من الكربون المستخلص من الفحم في محطات الطاقة التي يجري فيها حجز ثنائي أكسيد الكربون.

يمكن أيضا توليد الكهرباء من الوقود الحيوي، وهو مصطلح يعبر عن أنواع الوقود التجارية المشتقة من المواد النباتية: كالمحاصيل والمخلفات الزراعية، ونفايات صناعة الخشب والورق، وغاز مقالب القمامة. وإذا ما تجاهلنا الوقود الأحفوري المستخدم في حصر المواد النباتية وتصنيعها، فإن تبادل الغازات بين الغلاف الجوي والأرض سيصبح متوازنا لأن كمية ثنائي أكسيد الكربون المنطلقة من محطة طاقة تقليدية تعتمد على المواد الحيوية تعادل تقريبا الكمية المنزوعة من الغلاف الجوي بفعل البناء الضوئي أثناء نمو النبات. ولكن الطاقة الحيوية يمكن أن تفعل ما هو أفضل من ذلك. فلو زودت هذه المحطات بمعدات حجز الكربون، وأعيدت زراعة نباتات مكافئة للكتلة الحيوية التي جرى حصادها، فستكون النتيجة النهائية هي تنقية الهواء من ثنائي أكسيد الكربون. ومما يؤسف له أن انخفاض كفاءة البناء الضوئي يحد من فرص تنقية الغلاف الجوي بسبب الحاجة إلى مساحات واسعة من الأراضي لزراعة الأشجار أو المحاصيل. ومع ذلك، فإن تقانات المستقبل قد تغير ذلك. وقد يصبح ممكنا في وقت ما التخلص من ثنائي أكسيد الكربون بكفاءة أكبر باستخدام النباتات الخضراء، وحجز ثنائي أكسيد الكربون من الهواء بطريقة مباشرة بإمراره فوق مادة كيميائية ماصة، مثلا.

خزن ثنائي أكسيد الكربون[**]

بطبيعة الحال، لا يمثل احتجاز الكربون إلا نصف المهمة. فعندما يقوم أحد مرافق توليد الكهرباء ببناء محطة تعمل بالفحم قدرتها 1000 ميغاواط ومصممة لتحتجز ثنائي أكسيد الكربون، فإن هذا المرفق يحتاج إلى مكان للخزن الآمن لستة ملايين طن من الغاز ستولدها المحطة كل عام طوال فترة بقائها. ويرى الباحثون أن أفضل الأمكنة لذلك في معظم الحالات هي تكوينات الصخور الرسوبية الموجودة في باطن الأرض والتي تضم ثقوبا مملوءة حاليا بالماء المالح. ولكي تكون هذه المواقع ملائمة، فإن الوضع الأمثل هو أن تكون موجودة على أعماق كبيرة تحت أي مصدر لماء الشرب، أي على عمق 800 متر على الأقل تحت سطح الأرض. وعند هذا العمق، يكون الضغط أكبر بثمانين مرة من قيمة الضغط الجوي، وهو ضغط مرتفع إلى درجة تجعل ثنائي أكسيد الكربون المحقون والمضغوط موجودا في **الطور «فوق الحرج»** supercritical phase - وهو طور له تقريبا نفس كثافة الماء المالح الذي يحل محله في التكوينات الجيولوجية. ويُعثر أحيانا أيضا على النفط الخام أو الغاز الطبيعي في تكوينات الماء المالح حيث يكون هذان العنصران قد تغلغلا في الماء المالح قبل ملايين السنين.

ويمكن التعبير عن كميات ثنائي أكسيد الكربون التي تضخ في باطن الأرض بوحدة «البرميل»، وهي وحدة الحجم القياسية التي تمثل 42 غالونا والمستخدمة في صناعة النفط. وفي محطة تعمل بالفحم معدلة لاحتجاز الكربون تصل قدرتها إلى 1000 ميغاواط، يخزن سنويا نحو 50 مليون برميل من ثنائي أكسيد الكربون الموجود في الطور فوق الحرج - أي نحو 100 000 برميل يوميا. وبعد 60 سنة من تشغيل المحطة، سوف تبلغ الكمية المحتجزة تحت سطح الأرض نحو ثلاثة بلايين برميل (نصف كيلومتر مكعب). وتبلغ مساحة حقل النفط الذي تصل قدرته الإنتاجية إلى ثلاثة بلايين برميل ستة أضعاف مساحة أصغر الحقول التي يطلق عليها في هذه الصناعة اسم الحقول «العملاقة»، والتي يوجد منها نحو 500 حقل. ويعني ذلك أن كل محطة معدلة كبيرة تعمل بالفحم سوف تحتاج إلى أن يرافقها مستودع عملاق لخزن ثنائي أكسيد الكربون. ومن هذه الحقول العملاقة

خطط بديلة لخزن ثنائي أكسيد الكربون[*]

يمكن خزن ثنائي أكسيد الكربون المحتجز ليس فقط في مستودعات النفط والغاز الناضبة وتشكيلات الماء المالح الجوفية، بل أيضا في المعادن التي تشكل مركبات كربوناتية، وفي طبقات الفحم، وفي أعماق المحيط.

ويحتمل أن تكون المعادن التي يمكن أن تتحول إلى كربونات قادرة على حجز كمية من ثنائي أكسيد الكربون على سطح الأرض تزيد على ما تختزنه تكوينات الماء المالح في باطن الأرض. فأكسيد المغنيزيوم الموجود في اثنين من المعادن المتوافرة التي تحوي الحديد والمغنيزيوم، هما السربنتين والأوليفين، يتحد مع ثنائي أكسيد الكربون لينتج كربونات مغنيزيوم على درجة عالية من الاستقرار والثبات. ويكمن التحدي الكبير في جعل ثنائي أكسيد الكربون يتفاعل بسرعة مع كميات ضخمة من هذه الصخور، ربما عن طريق طحنها على هيئة مسحوق لزيادة المساحة السطحية التي تحدث عندها التفاعلات.

وتمتز السطوح المسامية الموجودة ضمن تشكيلات الفحم غاز الميثان، وأثناء استخراج الفحم من مناجمه يمكن أن يتحرر بعض هذا الميثان، فيتسبب في معظم الأحيان في انفجارات في باطن الأرض وموت عمال المناجم. ويمكن إدخال ثنائي أكسيد الكربون المضغوط في طبقات الفحم غير المستغلة حيث يمكن أن يحل محل الميثان الممتز، والذي يمكن بعد ذلك استرجاعه وبيعه وقودا.

أما حقن ثنائي أكسيد الكربون في المحيطات فمسألة خلافية. إذ يشير أنصار الخزن في أعماق المحيط إلى أن ثنائي أكسيد الكربون الموجود في الغلاف الجوي ينتقل بصورة مستمرة إلى سطح المحيط، لأن منظومة الهواء والمحيط تتجه نحو تحقيق التوازن الكيميائي. ويؤدي إبطاء زيادة ثنائي أكسيد الكربون في الهواء إلى خفض الكمية التي تذوب منه في المياه السطحية. ولذلك فإن الحقن في أعماق المحيطات سوف يؤدي إلى نقل بعض ثنائي أكسيد الكربون من المياه السطحية إلى أكثر الطبقات انخفاضا مما يخفف الآثار البيئية بالقرب من السطح، حيث يوجد الجزء الأكبر من الحياة البحرية. أما معارضو الخزن في المحيطات فيستندون إلى القانون الدولي الذي يحمي المحيطات من أنواع معينة من الاستخدامات الصناعية وصعوبة رصد انتقال ثنائي أكسيد الكربون بعد الحقن. وفي مناطق كثيرة من العالم، يعتمد المعارضون على اتجاه حضاري مفضل وقوي يدعو إلى ترك المحيطات وشأنها.

(*) Alternative CO_2 Storage Schemes

(**) Carbon Dioxide Storage



يجري اليوم خزن ثنائي أكسيد الكربون في باطن الأرض في مشروع عين صلاح بالصحراء الجزائرية. ويحتوي الغاز الطبيعي الخام الذي تقوم بإنتاجه من هذا الموقع شركتا بريتيش پتروليوم، وستاتويل وسوناتارك على كمية من ثنائي أكسيد الكربون تزيد كثيرا على احتياجات الاستخدام التجاري، ولهذا يجري التخلص من الفائض باستخدام المواد الكيميائية الماصة (زوجين اثنين من الأبراج التجريبية في وسط المصنع)، يضغط الغاز الناتج ثم يحقن تحت الضغط في تشكيل من الماء المالح الموجود على عمق كيلومترين تحت سطح الأرض. ويستمر الحقن تحت الأرض بمعدل أقل بست مرات مما يلزم في محطة لتغويز الفحم قدرتها 1000 ميغاواط مجهزة لحجز ثنائي أكسيد الكربون وخزنه.

للنفط، جاء نحو ثلثي النفط الذي أنتجه العالم حتى اليوم (والبالغ قدره ألف بليون برميل). وهكذا فإن هذه الصناعة تملك فعلا قدرا كبيرا من الخبرة فيما يتعلق بحجم العمليات المطلوبة لخزن الكربون.

سيكون أول المواقع التي تنشأ لاحتجاز ثنائي أكسيد الكربون هي تلك التي يمكن أن تحقق ربحا. ومن هذه المواقع حقول النفط القديمة التي يمكن أن يحقن فيها ثنائي أكسيد الكربون لزيادة إنتاج النفط الخام. وتستفيد هذه العملية، التي يطلق عليها عملية استخراج النفط المعززة، من حقيقة أن ثنائي أكسيد الكربون المضغوط مناسب كيميائيا وفيزيائيا لإزاحة النفط المتبقي في ثقوب الطبقات الجيولوجية بعد المراحل الأولى للإنتاج والذي يصعب استخراجه. وتستخدم في هذه العملية مكابس ضخمة لدفع ثنائي أكسيد الكربون في النفط المتبقي في المكامن، حيث ينتج من التفاعلات الكيميائية نفط خام معدل ينتقل بسهولة أكبر خلال الصخر المسامي باتجاه آبار الإنتاج. ويعمل ثنائي أكسيد الكربون، بصفة خاصة، على خفض التوتر السطحي البيني للنفط الخام - وهو شكل من أشكال التوتر السطحي يحدد كمية الاحتكاك بين النفط والصخر. وهكذا، يبعث ثنائي أكسيد الكربون حياة جديدة في الحقول القديمة.

واستجابة لتشجيع الحكومة البريطانية للجهود التي تبذل من أجل احتجاز ثنائي أكسيد الكربون وخزنه، تقترح شركات النفط مشاريع احتجاز مبتكرة في محطات الطاقة التي تعمل بالغاز الطبيعي تقترن بمشاريع لاستخراج النفط بالطرق المعززة في الحقول الواقعة تحت بحر الشمال. وفي الولايات المتحدة، يمكن للجهات القائمة على تشغيل هذه الأنواع من الحقول أن تحقق أرباحا الآن مع أنها تدفع بين 10 و 20 دولارا عن كل طن من ثنائي أكسيد الكربون المسلم عند البئر. ومع ذلك، فإذا استمرت الزيادة في أسعار النفط، فمن المحتمل أن ترتفع قيمة ثنائي أكسيد الكربون المحقون لأن استخدامه يساعد على إنتاج سلعة ذات قيمة أكبر. ويمكن أن يؤدي هذا التطور في الأسواق إلى توسع كبير في مشاريع احتجاز ثنائي أكسيد الكربون.

ومن المرجح أن تمضي عملية احتجاز الكربون في حقول النفط والغاز جنبا إلى جنب مع الخزن في تكوينات الماء المالح العادية، لأن هذه البنى الأخيرة أكثر شيوعا. ويتوقع الجيولوجيون إيجاد قدرة خزن طبيعية تكفي لاستيعاب جزء كبير من ثنائي أكسيد الكربون الذي سيمكن احتجازه من الوقود الأحفوري الذي سيحرق في القرن الحادي والعشرين.

مخاطر الخزن(*)

ثمة فئتان من المخاطر التي يتعين مواجهتها عند اختيار المستودع المقترح للخزن: التسرب التدريجي والتسرب المفاجئ. فالانطلاق التدريجي لثنائي أكسيد الكربون يؤدي فقط إلى عودة بعض هذا الغاز الحابس للحرارة إلى الهواء. وعلى العكس من ذلك، فإن الانطلاق السريع لكميات كبيرة من هذا الغاز، قد تترتب عليه نتائج أسوأ من عدم خزنه. ويتعين لاستصدار تصريح لعملية الاختزان، إقناع واضعي القواعد التنظيمية بأن التسرب التدريجي لا يمكن أن يحدث إلا بمعدل بطيء جدا وأن احتمال التسرب المفاجئ بعيد للغاية.

ورغم أن ثنائي أكسيد الكربون لا يتسبب عادة في أي أضرار، فإن انطلاق هذا الغاز بكميات كبيرة وبسرعة يثير القلق؛ لأن التركيزات العالية منه يمكن أن تكون قاتلة. ويذكر المخططون تماما الكارثة الطبيعية الرهيبة التي حدثت عام 1986 في بحيرة نيوس بالكاميرون: فقد تسرب ثنائي أكسيد الكربون البركاني النشأة ببطء إلى قاع

(*) Storage Risks

البحيرة، التي تقع في فوهة بركان. وفي إحدى الليالي حدث تقلب مفاجئ لقاع البحيرة تسبب في إطلاق ما بين 100 000 و 300 000 طن من ثنائي أكسيد الكربون خلال ساعات قليلة؛ فتدفق الغاز، وهو أثقل من الهواء، إلى واديين وأدى إلى اختناق 1700 شخص في القرى المجاورة ونفوق آلاف من رؤوس الماشية. ويعكف العلماء على دراسة هذه المأساة للتأكد من عدم وقوع حادث مماثل يتسبب فيه الإنسان. وسوف يسعى واضعو القواعد التنظيمية المتعلقة بتصاريح الخزن إلى الحصول على ضمانات بعدم انتقال التسربات إلى فراغات محصورة في جوف الأرض يمكن أن تتسبب في الانطلاق المفاجئ للغاز.

وقد يكون الخطر الذي يشكله التسرب التدريجي على الحياة ضئيلا، غير أنه يمكن أن يقضي على الأهداف المناخية المتعلقة بحجز الكربون. لذلك، يقوم الباحثون بدراسة الحالات التي يمكن أن ينتج منها تسرب بطيء. إن ثنائي أكسيد الكربون، الذي يطفو فوق الماء المالح، يتصاعد حتى يصطدم بطبقة جيولوجية حابسة (قلنسوة صخرية) ثم لا يرتفع أكثر من ذلك.

ويشبه ثنائي أكسيد الكربون الموجود في تكوين مسامي مئات البالونات المملوءة بغاز الهليوم، في حين تشبه القلنسوة الصخرية التي تعلوه خيمة السيرك. يمكن لأحد البالونات أن ينفذ إذا كانت الخيمة ممزقة أو كان سطحها مائلا بحيث يسمح بوجود ممر يتيح للبالون التحرك إلى الجانبين وإلى الأعلى. وسوف يتعين على الجيولوجيين البحث عن صدوع في القلنسوة الصخرية يمكن أن تسمح بالتسرب، وتحديد قيمة ضغط الحقن الذي يمكن أن يتسبب في تصدع القلنسوة الصخرية. كما سيكون عليهم أيضا تقييم السريان الأفقي الشديد البطء لثنائي أكسيد الكربون إلى خارج مواقع الحقن. وغالبا ما تكون التكوينات الرسوبية على شكل فطائر رقيقة تشغل مساحات شاسعة. وإذا حقن ثنائي أكسيد الكربون بالقرب من منتصف الفطيرة بميل خفيف، فإنه قد لا يصل حتى الحافة في عشرات الآلاف من السنين. ويعتقد الباحثون أنه بحلول ذلك الوقت سيكون معظم الغاز قد ذاب في الماء المالح أو احتجز في المسام.

وحتى إذا كانت جيولوجية الأرض مواتية، فإن استخدام تكوينات الخزن في الأمكنة التي توجد فيها آبار قديمة يمكن فعلا أن يثير مشكلات. لقد حُفر أكثر من مليون بئر في تكساس مثلا، وملئ عدد كبير منها بالأسمنت وأصبح مهجورا. ويخشى المهندسون من أن الماء المالح المحمل بثنائي أكسيد الكربون، وهو ماء حمضي، قد يجد طريقه من إحدى آبار الحقن إلى بئر مهجورة، فيعمل بعد ذلك على تآكل السدادة الأسمنتية ويتسرب إلى السطح. ولمعرفة نتيجة ذلك، يقوم الباحثون حاليا بتعريض الأسمنت للماء المالح في المختبر ويحصلون على عينات من الأسمنت القديم من الآبار. ويقل احتمال حدوث هذا الخلل في التكوينات الكربوناتية عنه في تكوينات الحجر الرملي. فالأولى تقلل من القدرة التدميرية للماء المالح.

ويجب على حكومات بلدان العالم أن تتخذ قرارات سريعة تتعلق بطول فترة الخزن. وتسفر الحلول التي تطرحها قواعد السلوك البيئي ومبادئ علم الاقتصاد التقليدي عن نتائج مختلفة لهذه المسألة. فقد تستند السلطات إلى قاعدة صارمة للسلوك البيئي تهدف إلى الحد من تأثير الأنشطة التي تنفذ اليوم في الأجيال القادمة، فترفض، مثلا، التصريح بإقامة مشروع للتخزين يقدر أنه سيحتجز ثنائي أكسيد الكربون لمئتي سنة فقط. وقد تسترشد هذه السلطات بدلا من ذلك بقواعد علم الاقتصاد التقليدي، فتوافق على المشروع نفسه استنادا إلى أنه بعد مئتي سنة من الآن، في عالم أكثر ذكاء، ستكون قد استحدثت تقانات متقدمة للتخلص من الكربون.

سوف تكون الأعوام القليلة القادمة حاسمة في تطوير طرائق احتجاز وخزن ثنائي أكسيد الكربون، وذلك مع ظهور سياسات تساعد على جعل الإقلال من انبعاث ثنائي أكسيد الكربون عملا مربحا ومع البدء في إصدار التصاريح اللازمة لمواقع الخزن. وعندما يقترن ذلك بتوظيف استثمارات كبيرة من أجل تحسين كفاءة استخدام الطاقة، وإيجاد مصادر للطاقة المتجددة، وربما للطاقة النووية، يمكن للالتزامات المتعلقة باحتجاز ثنائي أكسيد الكربون وخزنه أن تحد من مخاطر الاحترار العالمي. ■

المؤلف

Robert H. Socolow

أستاذ الهندسة الميكانيكية والفضائية في جامعة پرينستون. يدرِّس في كل من كلية الهندسة والعلوم التطبيقية، وكلية وودرو ولسون للشؤون العامة والدولية. تلقى «سوكولو» تعليمه في مجال الفيزياء. وهو الآن باحث رئيسي مشارك (مع اختصاصي علم البيئة «S. پاكالا» في مبادرة الجامعة للتخفيف من آثار الكربون بدعم من شركتي بريتيش پتروليوم (BP) وفورد، وهي مبادرة تركز على الإدارة العالمية للكربون، واقتصاديات الهدروجين وحجز الكربون الأحفوري. وفي عام 2003 منحته الجمعية الفيزيائية الأمريكية جائزة ليو زيلارد للمحاضرين.

مراجع للاستزادة

Capturing Greenhouse Gases. Howard Herzog, Baldur Eliasson and Olav Kaarstad in *Scientific American*, Vol. 282, No. 2, pages 54–61; February 2000.

Prospects for CO_2 Capture and Storage. International Energy Agency, OECD/IEA, 2004.

Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies. S. Pacala and R. Socolow in *Science*, Vol. 305, pages 968–972; August 13, 2004.

Prospects for Carbon Capture and Storage Technologies. Soren Anderson and Richard Newell in *Annual Review of Environment and Resources*, Vol. 29, pages 109–142; 2004.

Carbon Dioxide Capture for Storage in Deep Geological Formations—Results from the CO_2 Capture Project. Two volumes. Edited by David C. Thomas (Vol. 1) and Sally M. Benson (Vol. 2). Elsevier, 2005.

Princeton University Carbon Mitigation Initiative: **www.princeton.edu/~cmi**

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): **www.ipcc.ch/index.html** (Look for the "Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage" expected in late 2005.)

International Energy Agency (IEA) Greenhouse Gas R&D Program: **www.ieagreen.org.uk/index.html**

Office of Fossil Energy, U.S. Department of Energy: **www.fe.doe.gov/programs/sequestration/**

CO_2 Capture Project: **www.co2captureproject.org**

Scientific American, July 2005

كيف بلغت الدينوصورات هذا الحد من الضخامة وهذا الحد من الصغر(*)

<J. R. هورنر> ـ <K. باديان> ـ <A. دو ريكلس>

قد يقف معظم الناس بصورة مريحة تحت ذقن **تيرانوصورس ركس** Tyrannosaurus rex معروض في أحد المتاحف، أو يمشون تحت القفص الصدري **لبراكيوصورس** Brachiosaurus من دون أن ترتطم به رؤوسهم. فالتيرانوصورس يماثل في حجمه أضخم فيل إفريقي معروف. والبراكيوصورس مثل الصوروپودات (عظائيات الأرجل) الكبيرة الأخرى، كان أضخم بكثير من أي حيوان أرضي على قيد الحياة في الوقت الحاضر. لقد اعتدنا على منظر الحجم العملاق للدينوصورات ونسينا إلى حد ما تصوّر الكيفية التي وصلت بها تلك الحيوانات إلى هذا الحد من الضخامة. وكم من الوقت استغرق هذا النمو، وما هو طول المدة التي عاشتها بالفعل؟ هل تكشف طريقة نموها عن أسلوب تشكل أجسامها؟

حتى وقت قريب، لم تكن لدينا طريقة لتقدير عمر دينوصور. ولأنّ الدينوصورات كانت من الزواحف، افترض علماء الأحافير (المستحاثات) بصورة عامة، أنّها نمت كما تنمو الزواحف في الوقت الحاضر، أي بصورة بطيئة نوعا ما. وهكذا ذهب التصوّر إلى أنّ الدينوصورات الضخمة ينبغي أن تكون قد بلغت بالفعل أعمارا طويلة، إنّما لم يعرف أحد مقدار هذه الأعمار، لعدم وجود زواحف حية يصل حجمها إلى حجم يقترب من أي دينوصور.

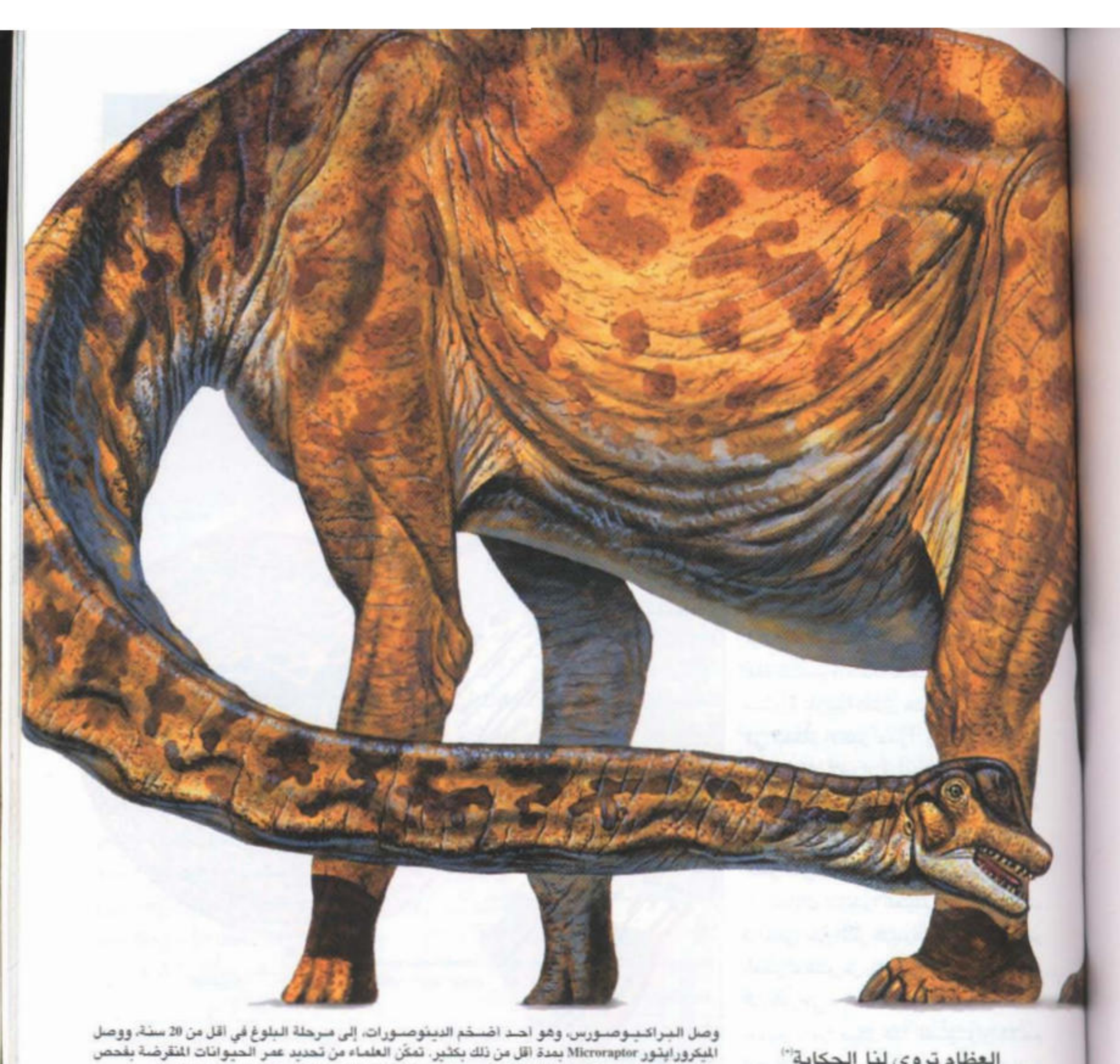
ويمكن الرجوع في هذا الشأن إلى عالم الأحافير الإنكليزي السير <R. أوين>، الذي أطلق في عام 1842 اسم دينوصوريا[1] (العظايا المخيفة)، عندما كان يصنّف مجموعة صغيرة وغير معروفة جيدا من زواحف نادرة ضخمة جدا؛ فهي ليست فقط كبيرة، كما قال، وإنما كانت كذلك حيوانات أرضية لا تشبه الإكتيوصورات (زواحف سمكية الشكل) والبلسيوصورات (زواحف شبيهة بالعظائيات) البحرية السابحة والمعروفة منذ مطلع عام 1800، فهي تتميّز بوركين يتصلان بخمس فقرات (من العمود الفقري) وليس بفقرتين فقط مثل الزواحف الحية. أمّا أطرافها فتقع تحت جسمها ولا تمتد إلى الخارج من جانبي أجسامها. ويتابع <أوين> القول إنّه على الرغم من هذه الفروق، فإنّ الملامح التشريحية لعظامها ـ أشكالها ومفاصلها والتصاقاتها العضلية ـ تدلّ على أنها من الزواحف. وهكذا، فقد كان لها حتما فيزيولوجية تميّز الزواحف، أي إنّها كانت على نحو نموذجي من ذوات الدم البارد وذات استقلاب (أيض) بطيء. ظلت هذه الصورة عن الدينوصورات قائمة ومقبولة حتى الستينات من القرن العشرين، حيث كانت توصف بأنها حيوانات بليدة وبطيئة الحركة، ولا بد أن تكون قد نمت ببطء لتبلغ حجما كبيرا في نوع من دفيئة ملائمة، حيث تزدهر فيها وتسود حيوانات عملاقة.

ومع ذلك فإنّ أي دليل على أعمار الدينوصورات، وعلى الكيفية التي كبرت فيها هذه الحيوانات، كان دائما مُثبتا داخل عظامها نفسها. ومع أنّ علماء الأحافير كانوا قد عرفوا لسنين عديدة أن عظام الدينوصورات تحتوي على حلقات نمو تشبه حلقات النمو الدائرية التي نراها في الأشجار، فإنهم لم يبدؤوا إلاّ في النصف الثاني من القرن العشرين فقط باستخدام حلقات النمو وبنى أخرى داخل العظام لفهم الكيفية التي نمت فيها هذه الحيوانات المنقرضة.

نظرة إجمالية/ نموسريع لحجم كبير(**)

- حتى وقت قريب، لم نكن نملك وسيلة لتقدير عمر الدينوصورات ولا لفهم الكيفية التي نمت فيها هذه الحيوانات.
- من الثابت أنّ هذه المعلومة متضمنة في عظام الحيوانات؛ إذ إنّ الكثير منها يحتوي على حلقات نمو شبيهة بحلقات النمو في الأشجار.
- باستعمال هذه الحلقات وبنى أخرى داخل العظام، أكّد العلماء حديثا بأن الدينوصورات نمت بسرعة لبلوغ حجمها الكامل ـ تماما بالطريقة نفسها التي تنمو فيها الطيور والثدييات في الوقت الحاضر، وليس على الإطلاق كنمو الزواحف الحية الأبطأ.
- يقتضي هذا النمو السريع أن تتمتّع هذه المخلوقات القديمة بمعدل استقلاب (أيض) مرتفع يضاهي معدّل استقلاب الحيوانات ذات الدم الحار وأكثر من معدّل استقلاب الزواحف ذات الدم البارد.

(*) HOW DINOSAURS GREW SO LARGE AND SO SMALL
(**) Overview/ Growing Fast to Great Size
(1) Dinosauria



وصل البراكيوصورس، وهو أحد أضخم الدينوصورات، إلى مرحلة البلوغ في أقل من 20 سنة، ووصل الميكروراپتور Microraptor بمدة أقل من ذلك بكثير. تمكّن العلماء من تحديد عمر الحيوانات المنقرضة بفحص حلقات النمو السنوية في العظام القديمة وحساب معدلات نمو النسج العظمية في الحيوانات الحية.

العظام تروي لنا الحكاية(*)

كانت حلقات النمو في عظام الدينوصورات سنوية كحلقات النمو في الأشجار. غير أنها ليست من البساطة بما يكفي لتسمح بتفسيرها. فالشجرة تحتفظ بكامل سجل نموها تقريبا في داخل جذعها. فإذا قطع هذا الجذع يكون بالإمكان أن نُحصي حلقات النمو واحدة فواحدة، من مركز الجذع إلى لحائه، وطبقته الخارجية فقط هي التي تصنع الخشب الجديد، وداخله يتألّف في الواقع من الخشب الميت. وعلى العكس يكون مركز العظم مكانا ناشطا، إذ تجوّف خلايا تدعى الخلايا **الناقضة للعظم** osteoclasts مركز العظم الطويل، كعظم الفخذ أو عظم الساق (الظنبوب)، بقضمها العظم الموجود متيحةً إعادة تدوير مغذياته. وهذا المركز، أو ما يعرف بتجويف نقي العظم، هو أيضا المصنع الذي ينتج خلايا الدم الحُمر (*انظر الإطار في الصفحة 54*).

لإنجاز هذه المهام، ينمو كامل العظم باستمرار ويتغير طوال حياة الحيوان. ومع نمو العظم يتوضّع نسيج جديد في قسمه الخارجي، ويحدث النمو أيضا في العظام الطويلة في نهايتي أجسامها. وخلال ذلك،

(*) The Bones Tell the Story

تقوم الخلايا الناقضة للعظم في تجويف النقي بقضم العظم الذي كان قد توضّع بصورة مبكّرة من حياتها، وتقوم خلايا أخرى بتشكيل نسيج عظمي ثانوي على كامل محيط تجويف النقي أو تجتاح قشرة (الطبقة الخارجية) العظم المتبقي لتعيد تشكيله.

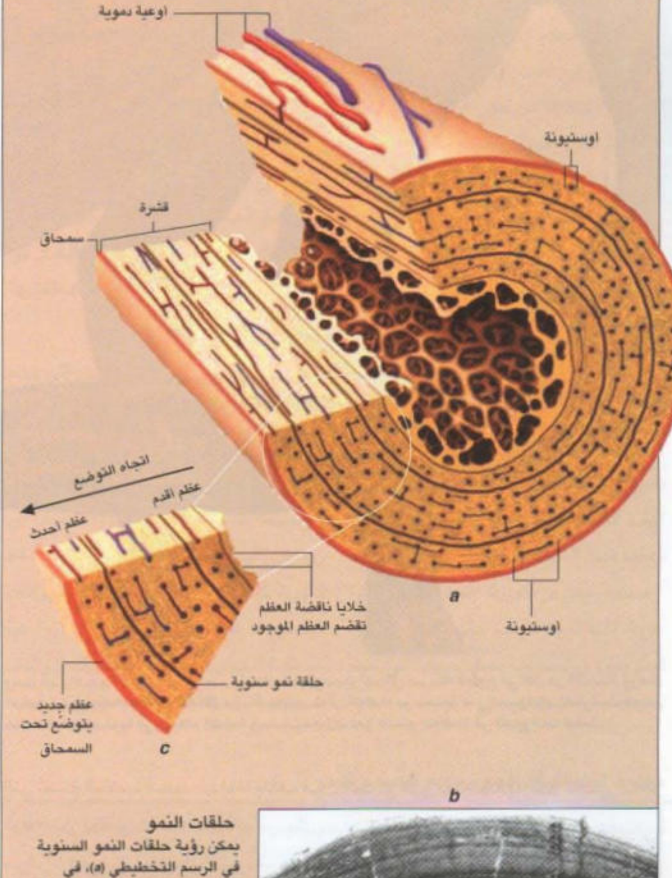
إن هذا النشاط في مركز العظم غالبا ما يزيل سجل النمو خلال المراحل الأولى من حياة الفرد؛ ومن ثم يصعب أن نجد - عند قطع عظم دينوصور - سجلا كاملا للنمو، فقط، من خلال تعداد حلقاته. وهكذا يمكن أن نعيد بناء التاريخ المبكر للعظم بطرائق مختلفة. وإحدى هذه الطرائق هي استخدام عظام أفراد أصغر عمرا للحصول على السجل المفقود. تحتوي العظام الفتية على النسج التي كانت قد قضمت في عظام الأكبر عمرا. وبفحص هذه النسج وتعداد حلقات النمو، يمكن بصورة تقريبية تقدير عدد السنين المفقودة في العظام الأكبر عمرا. وعندما لا تتوافر لدينا عظام لأفراد فتية يمكننا بعملية **حساب تراجعي** retrocalculate تقدير عدد حلقات النمو بفحص المسافات بين حلقات النمو التي بقيت مصانة.

حاولنا مؤخرا القيام بعملية حساب تراجعي على أكثر الدينوصورات شهرة وهو التيرانوصورس ركس. إن بحوزة متحف الروكيز في جامعة ولاية مونتانا اثنا عشر نموذجا من هيكل هذا الحيوان اللاحم العملاق، تتميّز سبعة منها بعظام أطرافها الخلفية، وهي محفوظة إلى حد ما حفظا جيدا سمح بصنع مقاطع رقيقة، وهي شرائح العظم التي تكون رقيقة بصورة كافية لفحصها تحت المجهر.

كشفت هذه الشرائح المجهرية لأطراف التيرانوصورس ركس عن وجود أربع إلى ثماني حلقات نمو محفوظة. أمّا الحلقات الأخرى القريبة من المركز فكانت غير واضحة بسبب نمو النسيج العظمي الثانوي.

قراءة في عظم دينوصور[*]

تحتوي عظام الدينوصورات على حلقات نمو شبيهة نوعا ما بالحلقات السنوية لنمو الأشجار، مع أنّ تفسيرها أكثر تعقيدا. فقشرة العظم مكونة من معادن (مثل فسفات الكالسيوم) ومن بروتينات (مثل الكولاجين)، حملتها إليها الأوعية الدموية. وتدعى الأقنية الوعائية التي تحوي الأوعية الدموية الأوستيونات osteons. عندما تبدأ بترسيب العظم على طول محيطها على شكل طبقات متمركزة. ويكون النمو في عظم الفخذ، وفي أي عظام طويلة أخرى، متمركزا بالضبط تحت غشاء خارجي هو السمحاق periosteum. وفي غضون ذلك تقوم الخلايا الناقضة للعظم بقضم الهامش الداخلي للعظم. وقد تغزو زمر ثانوية من الأوستيونات العظم الموجود فتقضمه وتُوضَع مكانه عظما جديدا. وبسبب كل هذا النشاط لا يستطيع الباحثون أن يدرسوا ببساطة شريحة في عظم دينوصور ويحددوا عمر الحيوان، ولكن يمكنهم الوصول إلى هذه المعلومة بإنجاز تحاليل متنوعة لحلقات النمو وملامح أخرى.



حلقات النمو

يمكن رؤية حلقات النمو السنوية في الرسم التخطيطي (*a*)، في الصورة المأخوذة لداخل عظم فخذ ترودون، وهو دينوصور لاحم صغير. أصبحت هذه الحلقات (*الأسهم في الصورة* (*b*)) أكثر تقاربا نحو خارج العظم، الذي كان قد توضّع في آخر مرحلة من النمو عندما أبطأ الحيوان نموه كما يحصل لنا جميعا مع تقدّم العمر.

(*) Reading A Dinosaur Bone

تُبيِّن حلقات النمو أن الديناصورات الكبيرة كانت في الواقع فتية جدا عندما بلغت أحجامها الضخمة. وقد نمت إلى حجم البلوغ أسرع بكثير مما فعلت الزواحف الحالية.

ومما يلفت الانتباه أيضا هو اتساع تجويف نقي العظم في هذه الديناصورات نتيجةً لقضم ثلثي قشرة العظم الأصلية. وقد لاحظنا أن المسافة بين حلقات النمو عند بعض الأفراد قد أصبحت فجأة صغيرة جدا نحو السطح الأبعد للعظم. وكنا قد رأينا ذلك من قبل في ديناصورات أخرى، مثل الديناصور العاشب البطّي المنقار (المسمى **مياصورا** Maiasaura). وهذا يعني نهاية النمو النشط، وبصورة أساسية الحد الذي بلغ فيه الحيوان حجمه الكامل.

قدرت حساباتنا التراجعية أنّ التيرانوصورس استغرق 15 إلى 18 سنة ليبلغ كامل حجمه، حيث يصل ارتفاع وركه ثلاثة أمتار (عشر أقدام) وطوله 11 مترا ووزنه 5000 إلى 8000 كيلوغرام (خمسة إلى ثمانية أطنان). (سررنا بمعرفة أنّ تقديراتنا تماثلت تقريبا مع تقديرات <G. M. إيريكسون> وزملائه [من جامعة ولاية فلوريدا]، التي تمت في الوقت نفسه تقريبا). وإذا كان هذا يبدو بمثابة نمو سريع، فإنه كذلك؛ على الأقل بالنسبة إلى أحد الزواحف. فقد تبيّن أنّ الديناصورات نمت بصورة أسرع بكثير من نمو الزواحف الأخرى الحية أو المنقرضة.

وعلى سبيل المثال، رسم <إريكسون> و<C. A. بروشو> [من جامعة أيوا] مخططا لنمو التمساح الضخم المسمى **داينوسوكس** Deinosuchus الذي عاش خلال الدور الكريتاسي، ما قبل نحو 75 مليون إلى 80 مليون سنة (*انظر الشكل في هذه الصفحة*). فقد بلغت هذه الزواحف العملاقة أطوالا تراوحت بين 10 و 11 مترا. وبفحص حلقات النمو في درع بشرة العنق، حدّد <إريكسون> و<بروشو> أنّ مثل هذا الحيوان يتطلّب نحو 50 سنة ليبلغ هذا الطول ـ أي ثلاث مرات الزمن الذي يتطلّبه تيرانوصورس ركس لبلوغ الحجم نفسه. ويبدو أنّ أكثر الحيوانات تشابها مع التيرانوصورس هو الفيل الإفريقي الذي يبلغ كتلة الوزن نفسها تقريبا (5000 إلى 6500 كيلوغرام) خلال 25 إلى 35 سنة. وعليه فإن التيرانوصورس وصل إلى حجم البالغ أسرع بكثير مما وصله أي فيل.

وبيّن بحث لاحق أنّ هذا التيرانوصورس ليس حيوانا استثنائيا بين الديناصورات ما عدا أنّه نما بصورة أبطأ قليلا (بالنسبة إلى حجمه) من نمو أي ديناصور ضخم آخر. ولقد وجد <A. شينسامي-توران> [الذي يعمل حاليا في جامعة كيب تاون في جنوب إفريقيا] أن الحيوان العاشب **ماسوسبونديليس** Massospondylus استغرق نحو 15 سنة ليبلغ طول مترين إلى ثلاثة أمتار. ووجد <إريكسون> و<T. A. تومانوفا> [من معهد علم الأحافير في موسكو] أنّ الزاحف القرني الصغير المسمّى **پسيتّاكوصورس** Psittacosaurus، قد وصل مرحلة البلوغ بعد 13 إلى 15 سنة. ولقد قدّرنا أنّ منقاري البط المسمّى **مياصورا** Maiasaura قد وصل مرحلة البلوغ بعد سبع إلى ثماني سنوات، حيث وصل طوله في هذه المدة سبعة أمتار. أمّا الصوروپودات (زاحفيات الأرجل) العملاقة (أنماط «برونتوصور»)، فإنها تتفوّق على جميع الحيوانات الأخرى. ومع ذلك اكتشف <M. ساندر> [من جامعة بون في ألمانيا] أنّ الزاحف **جانِنسكيا** Janenschia وصل مرحلة البلوغ في نحو 11 سنة، مع أن نموه استمر بالفعل بعد ذلك. ولقد حددت <F. ريمبلوت-بالي> وزملاؤها [من جامعة باريس السابعة] أنّ الزاحف **لاپّارنتوصورس** Lapparentosaurus وصل كامل حجمه قبل بلوغه العشرين سنة من عمره. ووجدت <K. C. روجرز> [من متحف العلوم في مينيسوتا] أنّ الزاحف **أپاتوصورس** Apatosaurus (وهو معروف باسم **برونتوصورس** Brontosaurus) قد وصل إلى مرحلة البلوغ خلال ثماني إلى عشر سنوات، وأنّ وزنه كان يزداد سنويا نحو 5500 كغ[1].

داخل إحدى عظام دينوصور[*]

لماذا كان نمو الديناصورات أقرب إلى نمو الفيلة منه إلى نمو التماسيح العملاقة؟ وما أهمية هذا النمو بالنسبة إلى المظاهر الأخرى لبيولوجيتها؟ للإجابة عن هذين السؤالين، علينا أن نتفحص داخل أحد عظام دينوصور لنرى نوع النسج التي حُفظت.

إن نسيج عظم طويل نموذجي

(*) Inside a Dinosaur Bone

(1) قدّر وزن هذا الزاحف بنحو 50 طنا. (التحرير)

الطيور المبكرة(*)

هل تمدّنا رؤى جديدة حول الخطى السريعة التي تنمو بها الدينوصورات المنقرضة باي معلومة جديدة عن تطور الطيور التي تُمثّل الدينوصورات الحية؟ لماذا تكون الطيور مثلا أصغر بكثير من الدينوصورات المنقرضة؟ هل غيّرت معدلات نموها بطريقة ما؟ لقد بدأنا النظر في هذه المسالة بفحص النسج العظمية للطائر كونفوسيوسورنيس Confuciusornis، وهو طائر قديم عثر عليه في الكريتاسي المبكر (ما قبل 125 مليون سنة) في الصين ويظهر في شجرة نسب فصيلة الطيور بعد وقت قصير من ظهور الأركيوبتريكس Archaeopteryx: الطائر الأول المعروف. إنّ نمط الجزء الداخلي للنسج العظمية للطائر كونفوسيوسورنيس الذي له حجم الغراب، هو ليفي- صفائحي سريع النمو (مثل نسج الدينوصورات الأخرى)، ولكن يصبح النسيج باتجاه الخارج من نمط نمو أبطا، وهذه هي إشارة إلى أنّ معدل النمو انخفض بعد دفعة نمو فتية قصيرة الأمد. ولقد قارنّا هذه النسج بنسج الزاحف ترودون Troodon، وهو دينوصور صغير يشبه الطيور الجارحة، طوله 5.1 م تقريبا، قام بدراسته <ل. D. فاريشيا> [من جامعة ولاية مونتانا]. تدلّ نسج الترودون على نمو إجمالي أسرع.

وكما يبيّن الطائر كونفوسيوسورنيس، فإنّ انواع هذه الطيور القديمة، لكي يصبح حجمها صغيرا، اختصرت دفعة نموها الفتية التي كانت سريعة جدا عند الدينوصورات الأخرى، وهذا أدّى بالطيور لأن تصبح باحجام صغيرة. وكان لهذا التصغير في الحجم تاثير مهمّ في الحركة، لأن الريش الذي كان موجودا على الأطراف الأمامية لأقرب أقرباء الدينوصورات من الطيور ربّما ساعد على الأرجح هذه الحيوانات الصغيرة على أن تصبح حيوانات طائرة. فالحيوانات الصغيرة تستطيع أن تصفّق باجنحتها بصورة أسرع مما تفعله الحيوانات الكبيرة، وفي حيوان أصغر ستكون الحمولة الجناحية (نسبة وزن الحيوان إلى مساحة جناحيه، أو ما على وحدة المساحة من الجناحين أن تحمله) اصغر نسبيا، ومن ثم سيكون أكثر فائدة من الناحية التحريكية الهوائية.

غير أنّ الطيور تصل في الوقت الحاضر حجمها الكامل بسرعة، وعادة ما يتم في اسابيع وحتى في اشهر. فما الذي تغيّر؟ يبدو أنه بعد بطء مبكر في تطورها، سرّعت الطيور على مرّ الزمن معدّل نموها من جديد - إلى معدلات هي غالبا ما تكون أسرع من معدلات الدينوصورات المنقرضة. ومنذ بضع سنوات، درست <A. شينسامي-توران> [وهي في الوقت الحاضر في جامعة كيب تاون] مع زملائها نسيج العظم لطيور مبكرة تقع على مسافة أبعد قليلا في شجرة النسب التطورية للطيور من مواقع الأركيوبتريكس والكونفوسيوسورنيس. كانت تشتمل هذه الطيور، التي عثر عليها في الكريتاسي المتاخر، على مجموعة إنانتيورنيتين البدائية، إضافة إلى أجناس مثل باتاكوبتريس Patagopteryx العاجز عن الطيران، وهسپرورنيس Hesperornis الغطاس وإكثيورنيس Ichthyornis الشبيه بطائر النورس (*انظر الإطار في الصفحتين 58 و59*). فقد نمت هذه الطيور أيضا بصورة أبطا من نمو الدينوصورات، ولكن أشكالها كانت أقرب إلى الطيور الحية وكان لها نسج عظمية دلت إلى حد ما على نمو أكثر سرعة من نمو الطيور التي ظهرت أبكر منها.

وبالقرب من الحدود بين الكريتاسي والحُقْب الثالث، أي ما قبل نحو 65 مليون سنة، تزايدت زيادة كبيرة معدلات النمو لدرجة أن الطيور الحية كافة - بما فيها النعامة - بلغت حجما كاملا في أقل من سنة (سبعة أيام في حالة العصفور الدوري). هذا وإنّ فحصا دقيقا لطيور تعود إلى الحقب الثالث المبكر سوف يبين لنا فيما إذا كانت مجموعات الطيور الحية قد اكتسبت عادتها في النمو السريع للوصول إلى حجم البلوغ على نحو تدريجي أو على نحو مفاجئ نسبيا.

لدينوصور هو بصورة أساسية من نمط يدعى ليفي-صفائحي: هو ليفي إلى أبعد الحدود أو «محبوك» البنية، ويتشكل حول ضُمام مؤلف من ألياف كولاجينية غير مرتبة ترتيبا جيدا ومزودة بأوعية دموية كثيرة. وخلافا لما كنا نتوقعه في الزواحف المألوفة، فإن هذا النسيج العظمي هو النوع نفسه السائد في عظام الطيور الكبيرة والثدييات الكبيرة التي تنمو إلى حجمها الأقصى بصورة أسرع مما تبلغه الزواحف النموذجية. ومن ناحية أخرى، يتألف عظم التمساح في معظمه من نسيج صفائحي-متمنطق zonal - فهو عظم متراص، شديد التمعدن، يحتوي على ألياف مرتبة ترتيبا أكثر انتظاما وعلى أقنية وعائية أصغر وأكثر تباعدا. إضافة إلى ذلك، فإن المسافات الفاصلة بين حلقات النمو في عظام التمساح تكون أضيق من مثيلاتها في عظام الدينوصور، وهذا دليل آخر على أنّ عظام التمساح تنمو بصورة أبطأ (*انظر الإطار في الصفحة المقابلة*).

في الأربعينات من القرن الماضي، أدرك <R. أمبرينو> [من جامعة تورينو بإيطاليا] أنّ نمط النسيج المتوضّع في عظم ما بأي مكان محدّد وفي أي زمن خلال نموه يرتبط بصورة رئيسية بالسرعة التي كان ينمو فيها النسيج في ذلك المكان. فالنسيج الليفي-الصفائحي يعكس محليا نموا سريعا بغض النظر عن مكان توضّعه أو زمنه، في حين يشير النسيج الصفائحي-المتمنطق إلى نمو أبطأ. ويمكن للحيوان أن يُوضّع كلا من نمطي هذين النسيجين في أزمنة مختلفة بحسب ما تسمح به استراتيجية نموه. فنمط النسيج الذي يسود خلال حياة الحيوان يقدم الدليل الأفضل على معدل نموه.

هناك فرق واحد بين الدينوصورات وبين التماسيح من ناحية، وبينها وبين الزواحف الأخرى من ناحية أخرى، وهو أنّ الدينوصورات تُوضّع نسيجا ليفيا صفائحيا خلال كل مدة نموها إلى الحجم البالغ، في حين أنّ الزواحف الأخرى تغيّره بسرعة إلى نسيج صفائحي متمنطق. نستنتج من هذا أن الدينوصورات كانت تحافظ على نمو سريع حتى مرحلة البلوغ، لأنه لا يوجد أي تفسير جيد آخر لاستمرار النسيج الليفي-الصفائحي وهيمنته.

خمّن <إريكسون> و<روجرز> و<S.Y. يربي> [من جامعة ستانفورد] سرعة نمو الدينوصورات

(*) Early Birds

الدينوصورات لم تكبر مثل الزواحف(*)


مياصورا



نعامة

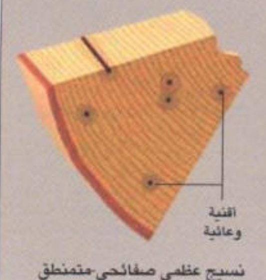

إلكة



نسيج عظمي ليفي-صفائحي

من الداخل، تبدو عظام الدينوصورات، شبيهة جدا بعظام الطيور الكبيرة والثدييات (*في الأعلى*). توضّع هذه الحيوانات بخلاف الزواحف (*في اليسار*)، نمطا لنسيج عظمي يدعى ليفي-صفائحي، الذي ينمو على هيكل من معادن وألياف كولاجينية تتوضّع في طبقات متميّزة. يخترق نسيجها العظمي عادة العديد من الأوعية الدموية، وهذا العدد الكبير من الأوعية الدموية يشير إلى توضّع سريع للنسيج، ومن ثم إلى نمو سريع. إنّ العظام المرئية للإلكة elk وللتمساح الأمريكي (جانبا) هي لأفراد بالغة تقريبا. يُلاحظ أنّ الأقنية الوعائية تُصبح نحو القسم الخارجي من العظم أقل عددا إلى حد بعيد وهي تعكس نموا بطيئا. أمّا عظام النعامة والياصورا Maiasaura فهي لأفراد ما بعد الفقس مباشرة near-hatchling. تكون المسافات الوعائية في عظامها غزيرة، مشيرة بذلك إلى نمو سريع جدا لم يتوطّد بعد في النمط الليفي-الصفائحي.

تمساح امريكي



نسيج عظمي صفائحي-متمنطق

بطريقة مختلفة. فقد رسموا، باستخدام قيم تقديرية لكتلة الجسم عند الدينوصورات، خطا بيانيا لكتلة الحيوانات بالمقابلة مع الزمن لاشتقاق منحنيات نمو لتشكيلة من أنواعها، وقارنوا هذه المنحنيات بمنحنيات النمو لمجموعات أخرى من الفقاريات. فوجدوا أن الدينوصورات كافة نمت بصورة أسرع من الزواحف الحية كافة، وأنّ الكثير من الدينوصورات نما بمعدلات نمو مكافئة لمعدلات نمو الجرابيات الحية، وأنّ الدينوصورات الأضخم نمت بمعدلات نمو مكافئة لمعدلات نمو الطيور التي تصل مرحلة البلوغ بسرعة وإلى معدلات نمو الثدييات الكبرى. ولقد عزّزنا نتائجهم المتعلّقة بكتلة الجسم مع دراساتنا الخاصة باستخدام طول الحيوانات.

إنّ مثل هذه الاكتشافات لم تكن، إلى حد ما، غير متوقعة. فمنذ عدة سنوات بيّن <T.J. كايز> [من جامعة كاليفورنيا في لوس انجلوس] أنّ الأنواع الأكبر في أي مجموعة من الفقاريات (أسماك، برمائيات الخ...) تنمو بمعدلات نمو أعلى بصورة مطلقة من معدلات نمو الأنواع الأصغر. ومع أنّ الأنواع الأكبر تصل الحجم البالغ في زمن أطول، فإنّها تنمو بصورة أسرع لبلوغ ذلك الحجم. والذي كان مدهشا أنّ هذه الدينوصورات قد نمت بالسرعة نفسها التي نمت بها الأنواع الأكبر من الفقاريات.

كنا فضوليين لمعرفة متى اكتسبت الدينوصورات، خلال مسيرة تطورها، هذا السلوك في النمو السريع. ولهذا فقد رسمنا معدلات النمو التي قدرناها للصلات التي كانت على **مخطط شجرة التفرّع التطوّري** cladogram، أو مخطط علاقات النسب البيانية، التي بُنيت على مئات الصفات المستقلة من كافة أجزاء الهيكل. وأضفنا كذلك معدلات النمو المقدرة للبتروصورات (وهي زواحف طائرة لها صلة وثيقة بالدينوصورات، ونمت كنموها تقريبا)، وللتماسيح وأقربائها المنقرضة، وللعظائيات. إنّنا نضع الطيور بين الدينوصورات، لأن الطيور تطورت عن الدينوصورات، ولذلك فهي متضمنة تقنيا معها [انظر: «*أصل الطيور وطيرانها*»، **العلوم**، العددان 9/8 (1998)، ص 10].

وسعيا لتقدير معدلات النمو عند الدينوصورات، اتجهنا نحو الطيور الحية التي تبدي نفس النمط من النسج الموجودة في عظام الدينوصورات. فقد حقن <J. كاستانت> وزملاؤه [من جامعة باريس السابعة] أفرادا من البط البرّي بمحاليل من شأنها تلوين العظام الآخذة بالنمو. وباستخدامهم ألوانا مختلفة وفي أوقات مختلفة تمكّنوا من قياس معدلات النمو أسبوعيا في الطيور المذبوحة (*انظر الشكل في الصفحة 58*). وباستخدام هذه المعايرات حدّدنا، من دون استثناء، أن الدينوصورات

(*) Dinosaurs Didn't Grow Like Reptiles

نمو العظم والتطور عند الطيور[*]

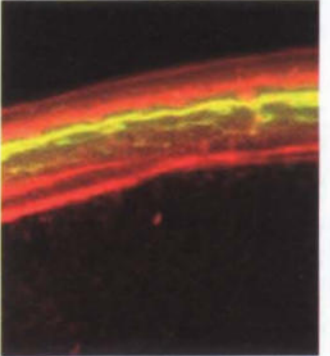
اركيوصوريا
دينوصوريا
ثريودا
الطيور
تمساحيات (3-5م)
براكيوصورس (25م)
كيلوفيزيس (3م)
ترودون (2م)
اركيوبتريكس (60 سم)

نسيج عظمي صفائحي-متمنطق؛ اوعية دموية قليلة؛ نمو بطيء؛ معدلات استقلاب أساسية منخفضة
نسيج عظمي ليفي-صفائحي؛ اوعية دموية كثيرة؛ نمو سريع؛ معدلات استقلاب أساسية أعلى
اختزال لحجم الجسم باختصار مرحلة النمو المبكر السريع

والبتروصورات نمت بمعدلات أعلى بكثير من معدّلات نمو الزواحف الأخرى. ولقد وجدنا تغيرا كبيرا بين الدينوصورات والبتروصورات عبَّرت عنه اكتشافات العالِم <كاستانيت> في الطيور؛ فالحيوانات التي نمت ببطء أكثر نسبيا من غيرها كانت الطيور الأصغر ـ تماما كالأمثلة التي كان قد تنبأ بها <T. كاين>.

زواحف غير مألوفة[**]

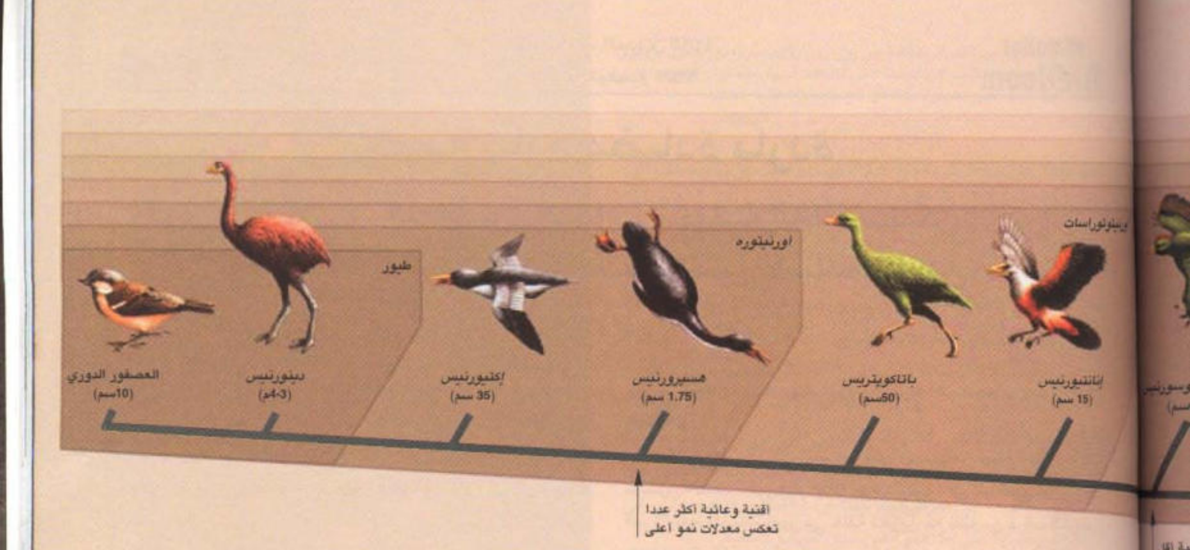
كشفت لنا دراسة عظام الدينوصورات عن كمٍّ كبير من المعلومات عن تطور بعض الملامح الكبرى لهذه الحيوانات. فقبل نحو 230 مليون سنة، في القسم المبكر من الدور الترياسي، افترقت السلالة التي ستعطي فيما بعد الدينوصورات والبتروصورات عن السلالة التي ستعطي التماسيح وأقرباءها. واكتسبت سلالة الدينوصورات حالا معدلات نمو مرتفعة ومديدة عزلتها عن الزواحف الأخرى. وقد يكون هذا النمو السريع قد أدى دورا في النجاح الذي تمتعت به الدينوصورات والبتروصورات في نهاية الدور الترياسي،


طبقات العظم المتوضعة بصورة متميّزة مبينة بالألوان الأخضر والأصفر والبرتقالي المفلور المحقونة أسبوعيا في ذكر البط البري. تُبيِّن هذه الألوان بالضبط مقدار النمو في عظم الطائر كل أسبوع.

عندما انقرض عدد كبير من أقرباء التماسيح ومجموعات بدائية أخرى متميِّزة أيضا ببنية عظمية زاحفية نموذجية.

تعطينا أيضا معدلات نمو الدينوصورات المرتفعة فكرة أكمل عن ملامح استقلابها. فكلّما أصبح المعدل الاستقلابي أكثر ارتفاعا ـ وهو أكبر طاقة مكرسة لبناء العظم والنسج الأخرى وقضمها ـ أصبح نمو النسج أسرع. وهكذا، فإن البرهان القاطع على النمو السريع والمديد، حتى في مرحلة الفتوة المتأخرة ومرحلة ما قبل البلوغ، يتضمن ما يشير إلى أنّ الحيوانات المعنية كان لها معدلات استقلاب أساسية مرتفعة نسبيا. ولأن الدينوصورات لم تكن مثل الزواحف الحية في أسلوب نموها، وإنما كانت أكثر شبها بالطيور والثدييات، فمن المحتمل أنّ معدلاتها الاستقلابية الأساسية كانت مثل معدلات

(*) Bon Growth and Evolution In Birds
(**) Unconventional Reptiles



كان للدينوصورات بدءا من نشوئها نسج عظمية تختلف اختلافا كبيرا عن نسج الزواحف الأخرى. كانت عظامها تنمو بصورة أسرع من الطيور والثدييات الحالية. وعندما تطورت الطيور الأولى فإنّ اختزال حجم اجسامها الكبير كان نتيجة للنمو الأبطا لعظامها. ولكن نموها ظل أسرع من الزواحف الأخرى. وهكذا عندما بدأت مجموعات الطيور الحالية بالظهور، تسرّع النمو ثانية، وبذلك وصلت الطيور - التي هي بحجم الحمام - إلى مرحلة البلوغ في أسابيع عوضًا عن أشهر. فالطيور الحالية كلها، حتى النعامة تصل إلى حجم البلوغ في سنة، وأغلبها يصل إلى مرحلة البلوغ بصورة أسرع، إذ يصل العصفور الدوري إلى البلوغ في سبعة أيام. وعندما تطورت الطيور، خفّضت من معدّلات نموها بالضبط في الوقت الذي كان النمو في مرحلته القصوى لدى أسلافها الدينوصورات، كما خفّضت فترة مرحلتها الفتية مختزلة بذلك حجم أجسامها بصورة فعلية إلى حجم بلوغها.

الطيور والثدييات، أكثر من أن تكون مماثلة لمعدلات الزواحف الحالية، وهذا الأمر يفترض أنها كانت - على ما يبدو - ذات دم حار (بصورة عامة) أكثر من كونها ذات دم بارد. ولكن من الصعوبة بمكان معرفة التفاصيل: مثلا معرفة درجة حرارة الجسم ومدى تغيراتها، أو ما هو مقدار ما يأخذ جسم الدينوصورات من حرارة من (أو ما يجب أن يطرحه في) الهواء الذي يحيط بها. ومن المؤكّد أن العديد من الأسئلة تبقى من دون جواب؛ إذ ربّما كانت الدينوصورات مخلوقات غير عادية إلى أبعد الحدود، أكثر مما كنا نعتقد؛ فهي ليست تماما كأي حيوان من الحيوانات الحالية، وهي بالتأكيد ليست بالزواحف المألوفة. فإذا ما قدّر لأحد أن يكتشف طائرا حيا زنته خمسة أطنان، فسوف يُحسم الكثير من هذه الأسئلة. ■

المؤلفون

John R. Horner - Kevin Padian - Arman De Ricqles

عملوا معا في *أبحاث عظام الدينوصورات* أكثر من اثنتي عشرة سنة. <هورنر> هو القيم على قسم علم الأحافير *(المستحاثات)* في *متحف الروكيز* واستاذ كرسي علم *الأحافير* بجامعة ولاية مونتانا. أمّا <باديان> فهو أستاذ البيولوجيا التكاملية وقيم متحف علم الأحافير بجامعة كاليفورنيا في بيركلي. وأمّا <دو ريكلس> فهو أستاذ في «كوليج دو فرانس» بباريس، حيث يشغل كرسي *البيولوجيا التاريخية والتطورية*؛ ويعمل فريقه العلمي، المرتبط *بالمركز الوطني للأبحاث العلمية (CNRS)* في جامعة *باريس السابعة*، في مجال تشكّل العظام والنسج الهيكلية.

مراجع للاستزادة

Dinosaurian Growth Rates and Bird Origins. K. Padian, A. J. de Ricqlès and J. R. Horner in *Nature*, Vol. 412, pages 405–408; July 26, 2001.

Dinosaurian Growth Patterns and Rapid Avian Growth Rates. G. M. Erickson, K. Curry Rogers and S. A. Yerby. Ibid., pages 429–433.

Age and Growth Dynamics of *Tyrannosaurus rex*. J. R. Horner and K. Padian in *Proceedings of the Royal Society of London, Biological Sciences*, Vol. 271, No. 1551, pages 1875–1880; September 22, 2004.

Growth in Small Dinosaurs and Pterosaurs: The Evolution of Archosaurian Growth Strategies. K. Padian, J. R. Horner and A. de Ricqlès in *Journal of Vertebrate Paleontology*, Vol. 24, No. 3, pages 555–571; September 2004.

What's Inside a Dinosaur Bone? K. Padian in *UCMP News* (University of California, Berkeley); September 2004. Online at **www.ucmp.berkeley.edu/museum/ucmp_news/2001/5-01/dinosaur1.html**

Physiology. K. Padian and J. R. Horner in *The Dinosauria*. Second edition. Edited by D. Weishampel, P. Dodson and H. Osmólska. University of California Press, 2004.

Dinosaur bone histology: **http://ltc.smm.org/histology/**

Scientific American, July 2005

صنع مادة مضادة باردة[*]

إن ذرات الهدروجين المضاد المنخفضة الطاقة ستمكّن الباحثين من اختبار إحدى الخصائص الأساسية للكون.

<G. P. كولنز>

المادة المضادة هي الخصم الرهيب للمادة العادية.

إن أشكال المادة المضادة هي كالتوأم الشيطاني لمقابلاتها الدنيوية في كل شيء إلاّ أن لها شحنة معاكسة. وهي تبشر بفناء عنيف إذا حدث والتقى الزوجان، من المادة العادية والمادة المضادة، معا. وبالفعل فإن الحريق الهائل الناشئ عن دمج غرام واحد من المادة مع قرينه من المادة المضادة يطلق طاقة تكافئ نحو 40 ألف طن من مادة التفجير TNT، أو طاقة تكفي 5000 منزل لمدة عام كامل.

لحسن الحظ بالنسبة إلى سلامتنا، ولسوء الحظ بالنسبة إلى سياسة إنتاج الطاقة، فإن المادة المضادة نادرة الوجود في العالم الطبيعي. وتطلق بعض المواد المشعة پوزترونات، وهي الجسيمات المضادة للإلكترونات، وهي تستخدم في التصوير الطبقي البوزتروني PET. كما يتساقط عدد ضئيل من البروتونات المضادة بصورة دائمة من الفضاء الخارجي ضمن الأشعة الكونية. أضف إلى ذلك أن الهمرات[1] العملاقة من الجسيمات، التي تحدث عندما يصطدم جسيم أشعة كونية ذو طاقة عالية بذرة ما في الجو تحتوي على عدد كبير من الجسيمات المضادة.

لكن عندما يصل الأمر إلى القطع الكبيرة فلا توجد أجسام مضادة. حتى الذرات المنفردة من المادة المضادة، أو ما يسمى بالذرات المضادة[2]، لا يُعرف أنها توجد في الطبيعة. ومع ذلك ترى النظرية أن دراسة الذرات المضادة يمكن أن تسهم في التعمق في فهم قوانين الفيزياء، ولذلك بدأ العلماء بمحاولة تصنيع مواد مضادة خاصة بهم، فابتدعوا في السنوات الأخيرة تقنيات ماهرة محققين بذلك بعض النجاح في هذا المجال.

ومنذ عام 1955، أخذ علماء فيزياء الجسيمات يشكّلون حزما من البروتونات المضادة. ولقد تم هذا الإنجاز في المسرّع بيفاترون Bevatron في مختبر لورنس بركلي الوطني وذلك بقذف البروتونات على قطعة من النحاس، وهي سيرورة معاكسة للإفناء[3]، حيث يتحول جزء من طاقة التصادم الخالصة إلى أزواج من البروتونات والبروتونات المضادة المحدثة. أما اليوم فيتم في مختبر فرمي الوطني في باتاڤيا بولاية إلينوي إخراج البروتونات المضادة التي تدور في حلقات ضخمة لجعلها تصطدم مباشرة بحزمة مماثلة من البروتونات، وذلك بهدف دراسة فيزياء الجسيمات عند الطاقات العالية جدا.

وكانت أولى الذرات المضادة التي وُجدت من صنع علماء المركز سيرن CERN[4] في عام 1955. فقد رتبوا أن تتقاطع حزمة من البروتونات المضادة تدور في حلقة تخزين مع نفثة من ذرات الكزينون xenon. وقد يحدث أن يُنتج أحد التصادمات زوجا من إلكترون وپوزترون يطيران مبتعدين معا ومشكّلين ذرة هدروجين مضاد. وقد شاهد فريق البحث تسعًا من هذه الذرات المضادة يسابق بعضها بعضا بسرعة تقارب سرعة الضوء. وفي عام 1988 أنتجت تجربة مماثلة في مختبر فرمي 57 ذرة مضادة.

إلا أن مثل هذه الذرات المضادة ذات السرعات العالية ليست مفيدة جدا. ويريد العلماء، لدراسة خصائص الذرات المضادة دراسة أكثر عمقا، الإمساك بها في محبس ذرات[5]، أي إن عليهم أن يبطئوها ويبردوها إلى أقل من 0.5 كلفن. وكانت مجموعتان بحثيتان متنافستان تنافسا شديدا تعملان في المركز سيرن تتابعان هذا الهدف. المجموعة الأولى هي المجموعة ATRAP التي يقودها <G. كبريلس> [من جامعة هارڤارد] وهي مجموعة تنحدر من مجموعة سابقة (تسمى المجموعة TRAP)، رائدة في عملية حصر البروتونات المضادة وتبريدها[6]. والمجموعة الثانية ATHENA بقيادة <R. لاندوا> [من المركز سيرن] انضمت إلى التنافس متأخرة، لكنها كانت في عام 2002 السبّاقة (بعدة أسابيع) في نشر بحث يُعلَن فيه اكتشاف ذرات هدروجين مضاد باردة. وتدرس مجموعة ثالثة، هي ASACUSA، ذرات هليوم غريبة استُبدل فيها إلكترون ببروتون مضاد.

مع أن بعض الباحثين يحدوهم الأمل في أنه في يوم ما سوف تستخدم المادة المضادة وسيلة للدفع propulsion، (*انظر الإطار في الصفحة 67*) إلا أن الهدف الرئيسي المباشر من دراسة الجسيمات المضادة يرتبط بما يسمى مبرهنة التناظر (التماثل)[7] CPT التي تربط بين خصائص أنواع الجسيمات المختلفة وقريناتها من الأجسام

(*) MAKING COLD ANTIMATTER

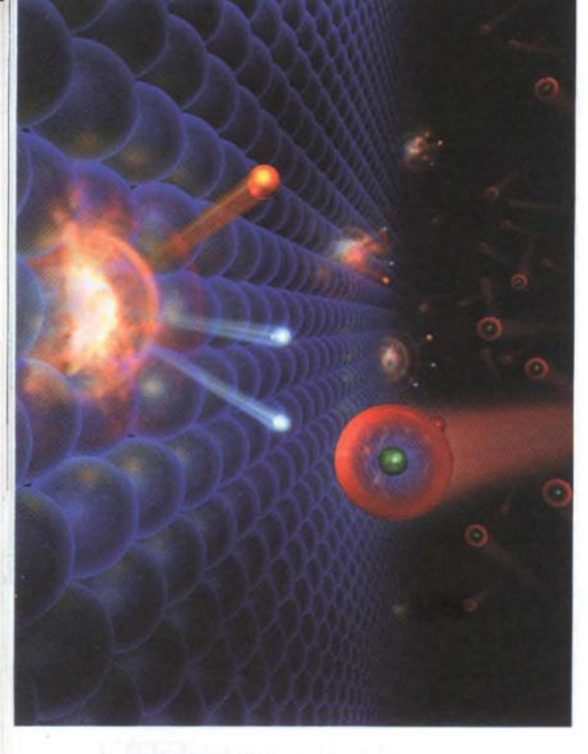
(1) showers (2) antiatom (3) annihilation

(4) المختبر الأوروبي لفيزياء الجسيمات بالقرب من جنيف. (5) atom trap

(6) [انظر: "*Extremely Cold Antiprotons*," by G. Gabrielse; *Scientific American*, December 1992].

(7) Charge-Parity-Time symmetry

ذرات الهدروجين المضاد المؤلفة من بوزترون (الأحمر) يدور حول بروتون مضاد (الأخضر) تبتعد عن النقطة التي تشكلت فيها وتضرب الجدار المادي المحيط بها حيث تفنى مصدرة دفقة من الجسيمات العالية الطاقة.



المضادة. وتتنبأ النظرية بأن كلا منهما يجب أن يتبع القوانين الفيزيائية ذاتها. ويأمل العلماء، عند الحصول على عدد كاف من الذرات المضادة المحتجزة، أن يروا ما إذا كانت ذرة الهدروجين المضاد يمكن أن تُصدر أو تمتص الضوء تماما بالترددات نفسها كما هو الأمر بالنسبة إلى ذرة الهدروجين. فإذا كان التناظر CPT مطبّقا وجب أن يكون الطيفان متطابقين.

إن للتناظرات المرتبطة بالتناظر CPT، تاريخيا، سجلا من الهزائم، فقد انتُهك كل منها بوساطة العالَم الحقيقي. وفي كل مرة يفشل فيها تنبؤ تناظر يتعلم الفيزيائيون المروَّعون معلومات جديدة عن خصائص القوى والجسيمات الأولية. ويعتبر انتهاك الهدروجين المضاد للتناظر CPT بمنزلة الجد للتناظرات المكسورة وهو يؤدي إلى تداعيات رئيسية على مفاهيم الفيزيائيين للواقع الحقيقي.

ولفهم ما هو التناظر CPT بدقة أكبر ولماذا هو بتلك الأهمية لنفصل الأحرف CPT إلى مكوناتها حيث تشير الأحرف الثلاثة إلى: عكس الشحنة[1] وانعكاس الندية[2] وعكس الزمن[3]. فعكس الشحنة هو استبدال جميع الجسيمات بالجسيمات المضادة. وانعكاس الندية هو أساسا الانعكاس في مرآة (وبدقة أكبر، هو انعكاس الفضاء حول نقطة). وعكس الزمن يعني تشغيل «فيلم» الواقع الحقيقي إلى الخلف.

إن القول إن التناظر P يعمل، أو إن الطبيعة «**صامدة**» invariant بالنسبة إلى التناظر P، يعني أن أية سيرورة فيزيائية تُرصد في مرآة تبقى تتبع القوانين نفسها كما هو الأمر بالنسبة إلى السيرورة غير المنعكسة. فإذا تخيلت نفسك ترمي كرة في الهواء أمام مرآة بدا التناظر P بديهيا بالحدس. فكيف يمكن ألا يُتبع هذا التناظر في أية سيرورة كانت؟ وما يدعو إلى الدهشة أن التناظر P، كما اكتُشف في عام 1956، يخرقه التآثر النووي الضعيف[4]، الذي تتضمنه بعض **التفككات** decays ذات النشاط الإشعاعي. فتفكك الكوبالت 60 في الواقع يبدو مختلفا عن تفكك الكوبالت 60 الذي يُرى في مرآة. ومثل لاعبة التنس التي تؤرجح المضرب بيدها اليمنى (ولذلك يكون انعكاسها باليد اليسرى) فإن لتفكك الكوبالت 60 **يدوانية** handedness ذاتية تقلبها المرآة.

في العديد من المواقف التي يُكسر فيها التناظر P فإن التناظر CP يبقى على الرغم من ذلك، محافظا عليه، أي إن صورة ذرة كوبالت مضاد في المرآة تتصرف بطريقة مطابقة لذرة كوبالت واقعية. وذلك يشبه كون الشخص المضاد أيسر فتكون صورته في المرآة يمينية أي مثل الشخص الأصلي غير المنعكس.

لقد أدهش الفيزيائيين اكتشافهم عام 1964، أن التناظر CP يُكسر أيضا في حالات نادرة في بعض السيرورات. وعلى الرغم من الندرة الكبيرة للتناظر CP المكسور فإنه يمكن أن يكون له دور في شرح هيمنة المادة على المادة المضادة في الكون (*انظر الإطار في الصفحة 63*).

وهذا يُبقي التناظر CPT: وهو المكافئ لما يمكن أن تراه إذا شاهدت فيلما تمثل فيه الجسيمات المضادة ويُعرض للخلف في مرآة. إن صمود التناظر CPT[5] يعني أن هذا الفيلم المضاد المعكوس المجنون يتبع نفس قوانين الفيزياء بالضبط مثل الواقع. وإذا اختلف تصرف هذا الفيلم المضاد المعكوس في أي شيء عن فيلم الواقع كان هذا الاختلاف «انتهاكا» للتناظر CPT[6].

إن للتناظر CPT أسسا رياضياتية عميقة. فهو متماسك مع معادلات نظرية الحقل الكمومية التي تصف الجسيمات الأساسية والقوى. وقد بقيت فيزياء الجسيمات لأكثر من نصف قرن مبنية على نظرية الحقل الكمومية؛ وسوف يشير انتهاك التناظر CPT إلى انهيارها. وسوف تعتبر مثل هذه النتيجة مؤشرا مهما لكيفية تطوير نظرية للفيزياء تذهب لما هو أبعد من النموذج العياري[7] لفيزياء الجسيمات.

لقد استنتج الفيزيائيون من تجارب فيزياء الجسيمات المتضمنة جسيمات غير مستقرة أن أي انتهاك للتناظر CPT يجب أن يكون صغيرا جدا. إضافة إلى أنه عندما أجرت مجموعة كبريليس TRAP

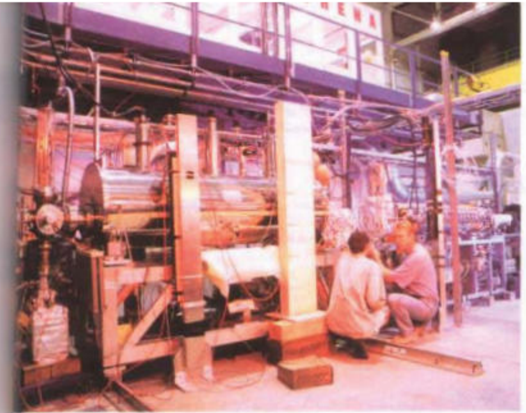
(1) charge reversal
(2) parity inversion
(3) time reversal
(4) weak nuclear interaction
(5) CPT invariance أو عدم تغير الـCPT.
(6) violation of CPT symmetry
(7) Standard Model

تجارب لمقارنة البروتونات المضادة المحتجزة بالبروتونات فإنهم تحققوا من التناظر CPT لهذا النوع من الجسيمات بدقة أكبر بكثير من أية دقة تم التوصل إليها سابقا. ولكن لابد للبحث أن يستمر عند مستويات من الدقة أعلى فأعلى وذلك لأن هناك أسبابا تدعو إلى توقع إمكان حدوث انتهاك التناظر CPT في مقياس أصغر(1). إن مطيافية الهدروجين ذات دقة عالية، فإذا أمكن التوصل إلى الدقة نفسها بالنسبة إلى الهدروجين المضاد أوصلت مقارنة الطيفين الفيزياء إلى أبعد بكثير من الحدود الحالية للتناظر CPT المتعلق بالجسيمات المستقرة.

يمكن أن تتأثر المادة المضادة، إضافة إلى كونها تنتهك التناظر CPT أحيانا، **بالثقالة** gravity بطريقة مختلفة عن المادة. إذ ليس صحيحا أن المادة المضادة سوف تعاني ثقالة مضادة وتتنافر مع المادة، كما يعتقد البعض خطأ. وإنما يمكن أن تنعكس مركّبة صغيرة جدا من قوة الثقالة بالنسبة إلى المادة المضادة. وسوف يجعلنا مثل هذا الاكتشاف نراجع بعمق فهمنا للثقالة. فدراسة الأجسام المضادة المشحونة مثل البوزترونات والبروتونات المضادة هي دراسة لا أمل منها في فحص تأثيرات الثقالة؛ ذلك أن الاضطرابات الناشئة عن الحقول الكهربائية أو المغنطيسية التائهة أكبر بكثير. ومع ذلك يمكن تصور أنه يمكن تبريد الذرات المضادة المعتدلة إلى درجات حرارة منخفضة جدا ورصدها وهي تسقط سقوطا حرا كما جرى بالنسبة إلى الذرات العادية المبردة باستخدام الليزر. ولكن تجارب الثقالة ستكون تقنيا أكثر صعوبة بمراحل من اختبارات التناظر CPT.

مكوّنات مضادة(*)

لصنع ذرات الهدروجين المضاد اللازمة لهذه التجارب لابد من مكوّنين هما البوزترونات والبروتونات المضادة، وهما يختلفان بشكل كبير في صعوبة تصنيعهما. إذ يمكن الحصول على البوزترونات



أداة المجموعة ATHENA في المركز سيرن بالقرب من جنيف هي إحدى منشأتين تنتجان الهدروجين المضاد البارد.

بسهولة نسبيا، فهناك العديد من النظائر المشعة(2) التي تطلقها في عملية تسمى التفكك بيتا. أما البروتونات المضادة فلا بد من صنعها كلية.

تستخدم التجارب في المركز سيرن نظيرَ الصوديوم 22 مصدرا للبوزترونات. إذ تطلق قطعة من الصوديوم وزنها غرام واحد 200 تريليون بوزترون كل ثانية. ولكن هذه البوزترونات تنطلق وطاقتها تبلغ 550 كيلوإلكترون فلط تكافئ درجة حرارة قدرها ستة بلايين درجة سيلزية. ولا بد، لكي تكون ذات فائدة في صنع هدروجين مضاد بارد من إبطائها من سرعة انطلاقها، وهي نحو تسعة أعشار سرعة الضوء، إلى مجرد كيلومترات في الثانية. ويتم التوصل إلى الإبطاء بوساطة سلسلة من العمليات المختلفة [*انظر الإطار في الصفحتين 64 و 65*]. فبعد نحو خمس دقائق تجمع المجموعة ATHENA نحو 75 مليون بوزترون معلقة بوساطة حقول مغنطيسية وكهربائية في محبس بيننك Penning ذي الخلاء العالي (المسمى باسم الفيزيائي «F.M. بيننك» الذي اخترع هذا التصميم عام 1936). أما المجموعة ATRAP فهي على العكس من ذلك تحتجز نحو خمسة ملايين بوزترون. والمحابس تمسك بالبوزترونات إمساكا جيدا: فبعد ساعة لم يفقد منها سوى عدد ضئيل.

نظرا لأن البروتونات المضادة لا تنتج من أي مصدر مشع مناسب فإنه يجب على الباحثين تكوين هذه الجسيمات المضادة من طاقة خالصة، وهذا ما يقومون به بإطلاق بروتونات على هدف معدني. تنتج هذه العملية، إضافة إلى جسيمات أخرى، نبضة عالية الطاقة من البروتونات المضادة. ولصنع هدروجين مضاد بارد، يجب على التجريبيين إبطاء البروتونات المضادة إلى درجة حرارة قريبة من درجة حرارة البوزترونات. وتستخدم نفس التقانة تقريبا، التي تسرّع حزم الجسيمات، إنما بطريقة معكوسة لإجراء المرحلة الأولى من عملية الإبطاء. وتنفذ عملية الإبطاء هذه في المركز سيرن منذ عام

نظرة إجمالية/ أولى الذرات المضادة(**)

- للجسيمات المضادة شحنة معاكسة لقريناتها من الجسيمات العادية وعندما يتقابل الاثنان يفني أحدهما الآخر حيث يطلقان كمية كبيرة من الطاقة. ومنذ عهد قريب نجح الفيزيائيون في تكوين أول مادة مضادة (ذرات مضادة) تسير بسرعات منخفضة نسبيا.
- يمكن في المستقبل استخدام هذه الذرات المضادة التي تتكون من هدروجين مضاد لدراسة خاصية أساسية للكون وهي تلك المعروفة بتماثلية CPT. ويعتبر أي انتهاك ولو بسيط جدا لتماثلية CPT اكتشافا مهما يؤدي إلى علم فيزياء جديد.
- وعلى الرغم من ذلك فإن درجة حرارة ذرة الهدروجين المضاد تصل إلى 2400 درجة مطلقة، وهي أعلى بكثير جدا من النصف درجة المطلقة اللازمة لحصرها لدراسات التماثلية CPT. ومن ثم يصبح الهدف الرئيسي التالي هو إنتاج ذرات مضادة في درجات حرارة منخفضة وفي حالات صالحة للدراسات الطيفية.

(*) Anti-ingredients

(**) Overview/ The First Antiatoms

(1) [انظر: "*The Search for Relativity Violations*," by A. Kostelecky; *Scientific American*, September 2004].

(2) radioactive

2000 بوساطة مبطئ **البروتونات المضادة** Antiproton Decelerator.

يُصدر مبطئ البروتونات المضادة كل دقيقة ونصف الدقيقة نبضة تحتوي على نحو 20 مليون بروتون مضاد. تسير هذه الجسيمات بسرعة تبلغ نحو عُشر سرعة الضوء، فقط، أي إن طاقتها نحو خمسة ميكاإلكترون فلط. ثم يتم إبطاؤها أكثر من ذلك بوساطة نافذة رقيقة من الألمنيوم، وفي النهاية تُنقَص طاقتها إلى عدة إلكترونات فلط فقط في محبس پيننگ. ويمكن أن تضاف دفعات متتالية من البروتونات المضادة من مبطئ البروتونات المضادة إلى المحبس، وهي عملية اخترعتها المجموعة TRAP وتسمى **التكويم** stacking. يستطيع محبس المجموعة ATHENA أن يحتفظ بعشرة آلاف من البروتونات المضادة لعدة ساعات أما محبس المجموعة ATRAP، ذو الخلاء الأفضل، فتمكّن من الاحتفاظ بمليون بروتون مضاد من دون أي فقد ذي شأن لمدة شهرين.

محابس متداخلة[*]

بدأ احتجاز الجسيمات المشحونة منذ عقود، ولكن المحابس العادية لا تستطيع احتجاز سوى الجسيمات التي لها إشارة الشحنة نفسها («القطبية» نفسها). فعلى سبيل المثال فإن محبس پيننگ الأسطواني الذي يحتجز البوزترونات لا يحتجز البروتونات المضادة. ويصمم هذا المحبس بحيث يحصر الحقلُ المغنطيسي الجسيمات قطريا ويرفع الحقل الكهربائي الجهد[1] عند كل من طرفي الأسطوانة.

وبالنسبة إلى البوزترونات يمكن للمرء أن يتخيل أن الجهد عند الطرفين بمنزلة منحدر، وأن الجسيم كأنه كرة تتدحرج إلى أعلى هذا المنحدر. فالبوزترونات التي تتحرك ببطء كاف تتوقف ثم تعود للنزول بحيث تبقى دائما في داخل المحبس. ولكن للأسف فإن البروتونات المضادة، ذات القطبية المعاكسة، لن ترى منحدرات صاعدة عند كل من الطرفين بل منحدرات شاقولية تسقط وفقها إلى الأسفل فتصطدم بمادة الجدران التي تحفظ الخلاء وتُفقَد هناك. ولا بد، لاحتجاز البروتونات المضادة، من عكس الحقل الكهربائي؛ أي قلب الجهد.

ولقد اقترح <كبريلس> والعاملون معه في عام 1988 حيلة لاحتجاز أنواع ذات شحنات متعاكسة معا. يوضع محبس ضحل لجسيمات لها قطبية معينة داخل محبس أعمق لجسيمات ذات قطبية معاكسة. فيرى نوع الجسيمات المحتجز بوساطة الجدران الخارجية بئرا عميقة لها هضبة في المركز مثل قاع زجاجة النبيذ. أما النوع الآخر فيرى جميع الجهود معكوسة وتصبح الهضبة في قاع البئر كما لو كانت انخفاضا في قمة جبل تحتجز الجسيمات. وتستخدم كل من المجموعتين ATRAP و ATHENA محبسا له هذا التصميم المتداخل للحفاظ على البروتونات المضادة والبوزترونات معا في منطقة الهضبة لتبقى معا. ولقد عرض <كبريلس> والعاملون معه هذه المنظومة وفيها بروتونات وإلكترونات عام 1996، وفيها بروتونات مضادة وبوزترونات عام 2001.

لاتناظر المادة في الكون[**]

عند بدء الكون في الانفجار الأعظم كان على الطاقة المنطلقة أن تنتج كميات متساوية من المادة والمادة المضادة. ولكن كيف أمكن لمثل هذا الكون أن يتطور إلى ما نراه الآن، حيث يتكون كل شيء تقريبا من المادة؟ لقد رد العالم الروسي الكبير <A. ساخاروف> على هذا السؤال في عام 1967 عندما بيّن أن أحد الشروط الأساسية لهذا التطور هو ظاهرة تسمى انتهاك التناظر CP، تسمح للجسيمات بالتفكك بمعدلات تختلف عن تلك الخاصة بالمادة المضادة.

تجرى حاليا تجربتان ـ الأولى BaBar [في مركز ستانفورد] للمسرّع الخطي (SLAC) والأخرى Belle في تسوكوبا باليابان ـ تدرسان انتهاك التناظر CP في تفكك جسيمات وجسيمات مضادة تسمى الميزونات B. وفي الشهر 2004/8 أعلنت الاثنتان عن رصد مباشر لمقدار كبير من انتهاك التناظر CP بوساطة الميزونات B: فقد حدث نوع معين من التفكك أكثر بكثير بالنسبة إلى الجسيمات منه بالنسبة إلى الجسيمات المضادة.

وحتى الآن يتفق مقدار الانتهاكات للتناظر CP المرصودة مع تنبؤات النموذج العياري لفيزياء الجسيمات. لكن تفاعلاً معينا يظهر زيادة طفيفة للانتهاكات للتناظر CP. وإذا تم التأكد من ذلك كان مؤشرا إلى فيزياء تشمل جسيمات لم تكتشف بعد[2]. مع ذلك فإن مقدار الانتهاك المرصود حتى الآن لا يبدو كافيا لجعل نموذج <ساخاروف> يعلل اللاتناظر بين المادة والمادة المضادة في كوننا.

أحيانا تُنتج التصادمات بين الجسيمات المحتجزة معا بوزترونا وبروتونا مضادا يتحركان معا في المسار نفسه. وفي الحال يبدأ الجسيمان بالدوران أحدهما حول الآخر، وهاهي ذرة هدروجين مضاد قد وُلدت.

اكتشاف[***]

تواجه الباحثين بعد حصولهم على ذرات الهدروجين المضاد مشكلتان: الأولى، كيف يمكن كشف الذرات لإثبات أنها موجودة فعلا؟ والأخرى، يجب أن يتم ذلك بسرعة لأن ذرات الهدروجين المضاد معتدلة الشحنة فلا يمكن احتجازها بوساطة أي من المحبسين المتداخلين الكهرمغنطيسيين. وتطير الذرات بسرعة خارجة من المحبس مهما كانت سرعتها عندما تشكلت.

تستخدم المجموعة ATHENA هذه المشكلة الثانية كحل للمشكلة الأولى. فعندما تقابل الذرات الخارجة مادةَ جدران الحاوية تتوقف. وفي الوقت نفسه تقريبا يفنى البوزترون لدى التقائه إلكترونا من ذرة من ذرات الجدار وكذلك يفنى البروتون المضاد في نواة. ويولّد التفاعل الأول عادة شعاعين من أشعة كاما (511 كيلوإلكترون فلط) يسيران باتجاهين متعاكسين؛ في حين يولّد التفاعل الآخر جسيمين

(*) Nested Traps
(**) Matter Asymmetry in the Universe
(***) Detection
(1) potential
(2) [انظر: "The Dawn of Physics beyond the Standard Model," by G. Kane; *Scientific American*, June 2003]

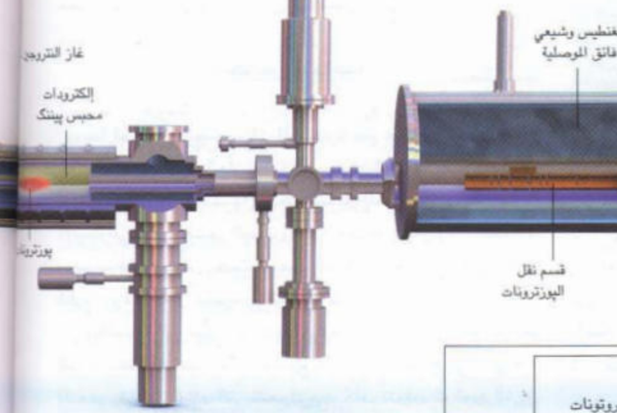
صنع واكتشاف هدروجين مضاد بارد(*)

لصنع ذرات هدروجين مضاد، يجب على الفيزيائيين أن ينتجوا پروتونات مضادة وپوزترونات ويجمعوها معا. وينتج مبطئ الپروتونات المضادة التابع للمركز سيرن (في اليسار) پروتونات مضادة ذات طاقة منخفضة نسبيا لثلاث تجارب - ATRAP و ATHENA و ASACUSA. ويحتجز حقلان، أحدهما مغنطيسي والآخر كهربائي، تلك الپروتونات المضادة والپوزترونات عند كل من طرفي أداة مخلاة لها شكل الأنبوب (في الأسفل). ثم يعدّل الحقلان لجمع الجسيمات إلى بعضها في محبس مزج. وقد كانت المجموعة ATRAP، ومن قبلها المجموعة TRAP، السبّاقة في اكتشاف مبادئ تشغيل محبس المزج. أما المخططات في الأسفل فتتعلق بأداة المجموعة ATHENA.



ماسك پروتونات مضادة ومحبس المزج

يجمع ماسك الپروتونات المضادة (في اليمين) نبضات من الپروتونات المضادة من المبطئ (التفصيل في اليمين). وعند تجميع عدد كاف من الپروتونات المضادة تُنقل إلى محبس المزج. ويحفظ المحبس الپروتونات المضادة والپوزترونات التي تم الحصول عليها من مجمّع الپوزترونات الذي يظهر في اليسار في المنطقة نفسها من الفضاء، وهذا يؤدي إلى تشكل ذرات الهدروجين المضاد (التفصيل في الوسط).



كيف يعمل ماسك پروتونات مضادة

يتم ملء المحبس مسبقا بسحابة باردة من الإلكترونات ثم تدخل الپروتونات المضادة القادمة من المبطئ من خلال جدار رقيق من الألمنيوم.



يبطئ الألمنيوم من سرعة بعض الپروتونات المضادة.

كمون كهربائي

يعكس حاجز كموني كهربائي عال هذه الپروتونات المضادة المبطّأة فيعيدها إلى داخل المحبس. وتهرب الپروتونات المضادة ذات الطاقات العالية إلى اليمين.

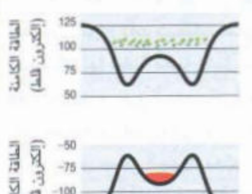
يُرفع بسرعة الحاجز الكموني الكهربائي العالي عند الطرف الأيسر فترتد الپروتونات المضادة ذهابا وإيابا من طرف إلى آخر.

تتخلى الپروتونات المضادة عن بعض طاقتها إلى الإلكترونات في كل دورة حتى تستقر في النهاية في مركز المحبس. عندئذ يخفض الحاجز الأيسر لكي تدخل النبضة التالية من الپروتونات المضادة.

پروتونات مضادة محتجزة

كيف يعمل محبس مزج متداخل

ليس بالإمكان تجميع الپوزترونات في البئر الكمونية نفسها التي تجمع سحابة من الپروتونات المضادة، و لذلك لا بد لحبسها من أن يتداخل مع محبس الپروتونات المضادة.



ترتد الپروتونات المضادة ذهابا وإيابا داخل بئر كمونية كبيرة وعميقة ذات هضبة في وسطها.

«ترى» الپوزترونات، ذات الشحنة المعاكسة، الكمون معكوسا ولذلك تصبح الهضبة انخفاضا عند قمة تل واسعة.



يحبس الانخفاض الپوزترونات داخل نفس المنطقة من الفضاء، التي فيها الپروتونات المضادة، مما يمكّن تشكل ذرة هدروجين مضاد.

Making and Detecting Cold Antihydrogen (*)

أو ثلاثة تسمى **بيونات** pions. وجميع هذه الجسيمات سهلة الكشف؛ ففي أية مرة ترى **المكاشيف** detector أشعة كاما المناسبة وبيونات تنشأ عن المكان نفسه في الجدار في الوقت ذاته، يعرف الباحثون أن ذرة هدروجين مضاد قد تشكلت وأنها الآن فنيت.

إلا أن الأمور ليست بالضبط بهذه البساطة. فبعض البروتونات المضادة تفنى مولّدة همرة من البوزترونات، وهذه بدورها تنتج أشعة كاما طاقتها 511 كيلوفلط، يمكن كشف اثنين منها. وهكذا بإمكان البروتونات المضادة المنفردة أن تحاكي إشارة ذرة الهدروجين المضاد. ولذلك لابد من قياس مستوى الإشارة الزائفة وحذفه من البيانات.

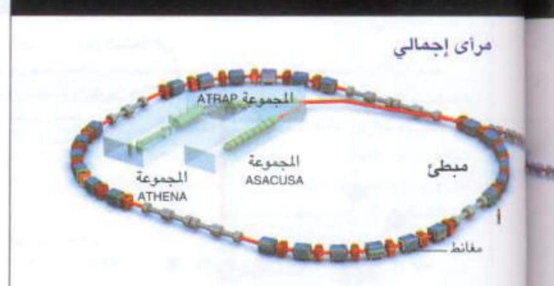
تستخدم المجموعة ATRAP تقنية مختلفة اختلافا بيّنا تحذف الخلفية بكاملها. فلا يَعدّ الفريق إذًا سوى ذرات الهدروجين المضاد التي يصادف أن تسير باتجاه محور المصيدة الأسطوانية ويصادف أن يكون ارتباطها ضعيفا (أما جميع تلك التي تسير في الاتجاهات الأخرى أو المرتبطة ارتباطا وثيقا فتفلت من الكشف). وتمر هذه الذرات المضادة المعتدلة من دون عناء من خلال حاجز كمون[1] عال يوقف جميع البروتونات المضادة الضالة التي هي ليست جزءا من ذرة مضادة. ثم تواجه الذرات المضادة حقلاً كهربائيا قويا يفصل البروتونات المضادة والبوزترونات في الذرات المضادة الضعيفة الارتباط. وفي النهاية تؤسَر البروتونات المضادة المنزوعة في محبس كهرمغنطيسي آخر. وبعد فترة تجميع يُفرج عن هذه البروتونات المضادة وتُكشف من خلال فنائها على الجدران المجاورة.

وعندما لا تكون البوزترونات موجودة في المحبس المتداخل لا تُكشف بروتونات مضادة، وهذا يثبت أن البروتونات المضادة المنفردة لا يمكن لها أن تتخطى حاجز الكمون للوصول إلى المحبس البعيد. فالعدّ عند وجود البوزترونات هو إذًا عدّ ذرات الهدروجين المضاد المعتدلة التي يصادف أن يكون ارتباطها ضعيفا وتسير بالاتجاه الصحيح. فلا توجد إذًا خلفية يجب حذفها.

واستكمالا لهذه التقنية الأساسية باستخدام **حقل تعرية** stripping field مهتز جمعت المجموعة ATRAP في عام 2004 معلومات عن سرعة تحرك ذرات الهدروجين المضاد أو، بتعبير آخر، درجة حرارتها. وكانت النتيجة غير مشجعة إلى حد ما: كانت درجة حرارة الذرات التي كشفتها المجموعة ATRAP تصل إلى 2400 كلفن وهي أعلى بكثير من درجة حرارة مكونات المحبس المبرد بالهليوم السائل البالغة 4.2 كلفن. ويتطلب إجراء دراسات طيفية مفصلة للذرات المضادة أن تكون درجة حرارتها أقل من 0.5 كلفن، بحيث يمكن جمعها في محبس ذرات معتدلة ودراستها بملاحظة كيفية امتصاصها للحزم الليزرية ذات الترددات المختلفة.

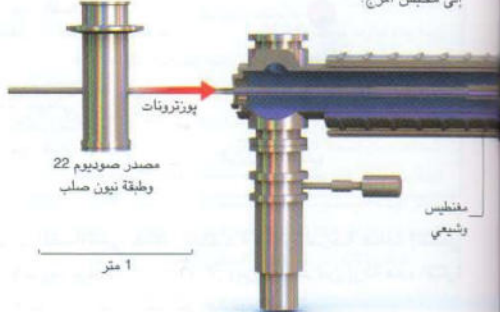
(1) potential barrier

مرأى إجمالي



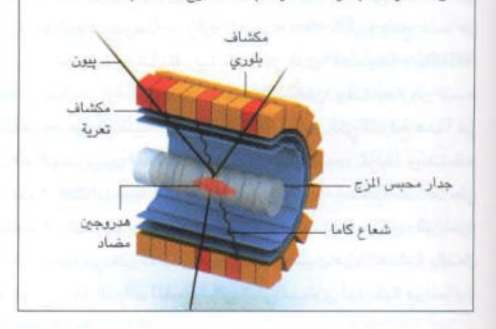
مُجمّع بوزتروني

تبطأ البوزترونات المنبعثة من مصدر الصوديوم 22 (*في أقصى اليسار*) أولا بوساطة مرورها من خلال طبقة رقيقة من النيون الصلب ثم بوساطة التصادم مع غاز النتروجين. يلتقط محبس بيننگ البوزترونات المبطأة، وعندما يتجمع عدد كاف من البوزترونات يُضخ النتروجين إلى الخارج وتُنقل البوزترونات إلى محبس المزج.



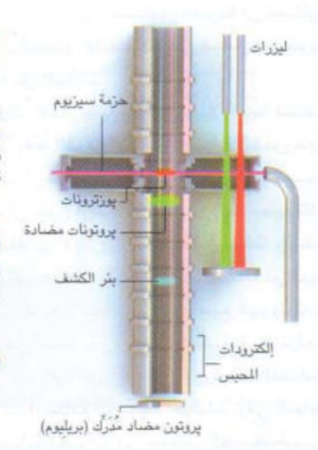
كيف يعمل المكشاف

عندما تتشكل ذرات الهدروجين المضاد في داخل محبس المزج تتسرب الذرات المضادة، لكونها معتدلة، إلى خارج المحبس و تصطدم بجدران الحاوية. وهناك يفنى البروتون المضاد والبوزترون فتنتج ثلاثة **بيونات** pions ذات طاقة عالية إضافة إلى زوج من أشعة كاما. وتكشف طبقات من مكاشيف الجسيمات المحيطة بمنطقة المزج هذه الانبعاثات.



الإنتاج المتحكَّم فيه بوساطة الليزر(*)

قدمت المجموعة ATRAP طريقة تحكّم بوساطة أشعة الليزر لإنتاج ذرات الهدروجين المضاد من دون الحاجة إلى المحابس المتداخلة (*الجهاز في الأسفل ووصف العملية في أسفل اليسار*). فعوضا عن هذه المحابس تُحتجز البروتونات المضادة والبوزترونات في محبسين متجاورين، وتُنقل «ذرات» البوزترونيوم المعتدلة (إلكترون و بوزترون يدور أحدهما حول الآخر) البوزترونات إلى البروتونات المضادة. ولا بد أن يضمن تتابع التفاعلات أن تكون لذرات الهدروجين المضاد الناتجة سرعات منخفضة (أي درجة حرارة منخفضة)، ولكن هذا لم يؤكَّد حتى الآن.

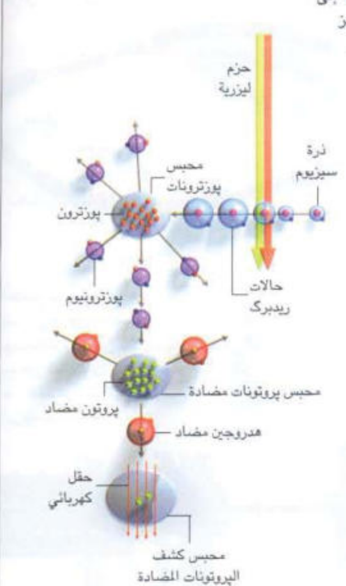


1 تمر ذرات السيزيوم القادمة من فرن من خلال حزم ليزرية مولّفة لإثارة الذرات إلى حالات ريدبرگ المنتفخة.

2 تأسر البوزترونات في المحبس الإلكترونات المثارة من ذرات السيزيوم مكونة البوزترونيوم في حالات ريدبرگ أيضا. ولكون ذرات البوزترونيوم معتدلة فإنها تهرب من المحبس في جميع الاتجاهات.

3 تذهب بعض ذرات البوزترونيوم إلى محبس البروتونات المضادة حيث تلتقط البروتونات المضادة البوزترونات مكونة ذرات الهدروجين المضاد التي تهرب من المحبس في جميع الاتجاهات.

4 تذهب بعض ذرات الهدروجين المضاد إلى محبس بروتونات مضادة ثان حيث ينزع حقل كهربائي عال البوزترونات منها. ثم يتم كشف البروتونات المضادة المحتجزة كدليل على تشكل ذرات الهدروجين المضاد.



إنتاج متحكم فيه بوساطة الليزر

طوّرت المجموعة ATRAP في نطاق جهودها للحصول على ذرات مضادة حرارتها منخفضة، منظومة يتحكم فيها الليزر لإنتاج هدروجين مضاد. تتخلص هذه المنظومة من المحبس المتداخل. وبدلا من ذلك يُحتفظ بالبوزترونات والبروتونات المضادة في بئرين كمونيتين متجاورتين لكنهما منفصلتان [*انظر الإطار في الأعلى*]. تنقل سلسلة من التفاعلات، بدءا من حزمة من ذرات السيزيوم المثارة بالليزر، البوزترونات إلى البروتونات المضادة لتكوين الهدروجين المضاد. وتصمم سلسلة التفاعلات بحيث يتم نقل كمية ضئيلة جدا من الطاقة إلى الذرات المضادة الناتجة.

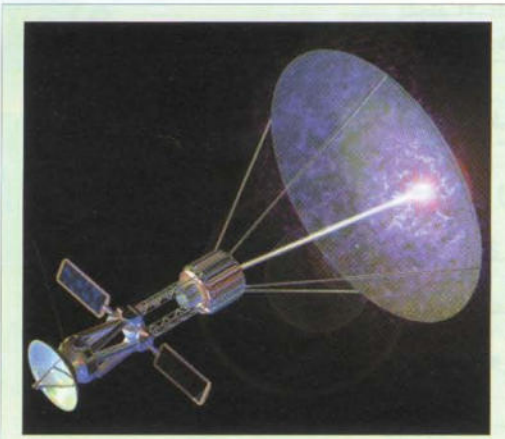
أجرت المجموعة ATRAP هذه التجربة على مدى ساعات قليلة فقط في نهاية الوقت المتاح لها في عام 2004، ولذلك لم يكن لديها وقت كاف **لأمثلة** optimize الطريقة أو لتجميع عدد أكبر من الذرات المضادة. وبالتحديد تم كشف ثلاثة عشر منها. ويوضح <كبريلس> «أنه يوجد سبب جيد للاعتقاد أن هذه الذرات هي أبرد بكثير جدا من تلك الذرات المنتجة بوساطة محبس بيننگ المتداخل.» ولكن الأمر يحتاج إلى عدد أكبر بكثير من الذرات لإثبات هذه الفرضية. وحتى عند ذلك فلاتزال هناك خطوة أخرى ضرورية قبل أن يكون استخدام الذرات المضادة للاختبارات الدقيقة للتناظر CPT ممكنا: تتكون الذرات المضادة في حالات منتفخة مثارة لدرجة عالية (تسمى **حالات ريدبرگ** Rydberg states) ومن ثم لابد من إزالة هذه الإثارة قبل التمكن من إجراء التحاليل الطيفية العملية.

وفي نهاية عام 2004 نجحت المجموعة ATHENA أيضا في ضغط بروتوناتها المضادة في عمود رقيق كثيف في مركز محبسها بالضبط. ويمكن لهذا التشكيل أن يكون مفيدا جدا في التجارب المستقبلية التي تشمل محابس مغنطيسية (سوف يُحتاج إليها للحفاظ على ذرات الهدروجين المضاد).

وفي عمل آخر فحص أعضاء المجموعة ATHENA خصائص عملية إنتاج الهدروجين المضاد. ووجدوا أنه حتى عندما تكون بوزتروناتهم في درجة حرارة الغرفة (300 كلفن) ينتج عدد من الذرات المضادة يعادل تقريبا تلك التي لدى المجموعة ATHENA عند درجة حرارة التشغيل المعتادة 10 كلفن. وهذا يعارض أبسط النظريات عن كيفية تكوّن الذرات المضادة، التي تتوقع عددا من ذرات الهدروجين المضاد أقل بآلاف بل ملايين المرات. ويعتقد <لاندوا> اعتقادا قويا أنه لابد من وجود آلية ما إضافية تساعد على استقرار الهدروجين المضاد في البلازما الساخنة. (لكن <كبريلس> يشك بشدة في هذا الاستنتاج). فإذا سببت هذه العملية بالفعل تخفيض طاقة الذرات المضادة إلى أدنى مستوى لها، كما هو مطلوب

(*) Laser-Controlled Production

الدفع بالمادة المضادة: ماذا يتطلب؟(*)



تستخدم المنظومة المقترحة للدفع بالمادة المضادة أقراصا من المادة المضادة لقدح انفجارات انشطارية في شراع مطلي باليورانيوم.

طبقا لوكالة الفضاء الأمريكية ناسا فإن 42 مِلّيغراما من البروتونات المضادة تمتلك طاقة تساوي 750 ألف كيلوغرام من الوقود والمؤكسِدات المخزنة في صهريج خارجي لمكوك فضاء. وتبدو الفائدة من مثل هذا المصدر المركّز للطاقة من أجل الدفع واضحة، ولكن لا بد من التغلب على العديد من الصعوبات قبل أن يصبح دفع سفن الفضاء باستخدام المادة المضادة واقعا ملموسا.

المتطلب الأول بالطبع هو وجود طريقة عملية لإنتاج كميات تقدر بالمليغرامات من المادة المضادة. ينتج مبطئ البروتونات المضادة التابع للمركز سيرن 20 مليون بروتون مضاد كل 100 ثانية، فإذا عمل 24 ساعة كل يوم وسبعة أيام كل أسبوع لمدة عام كامل فلن يولِّد سوى 10 بيكوغرامات من البروتونات المضادة.

وثانيا تلزم طريقة لاختزان كميات كبيرة من المادة المضادة. ذلك أن محابس الذرات المعتدلة تحتفظ بعدة ملايين فقط من هذه الذرات. وقد اقترح كل من <D. S. هاو> و<P. G. جاكسون> [من تقنيات H في ناسا] في مؤتمر عام 2003 أن يتم تخزين الهدروجين المضاد (اتش بار) على شكل أقراص صلبة (يتجمد الهدروجين، وكذلك الهدروجين المضاد، عند الدرجة 14 كلفن). والأقراص، التي ربما يبلغ قطرها نحو 150 ميكرونا، ستكون مشحونة كهربائيا ومعلقة في **صفيف** array من المحابس **الكهراكدة (الكهربائية الساكنة)** electrostatic.

وحتى إذا توافر مخزن مناسب للمادة المضادة وجب تحويل طاقة الإفناء إلى طاقة دفع. فعندما يتم إفناء إلكترون وبوزترون تتحرر الطاقة الناتجة على شكل شعاعين من أشعة كاما ينطلقان في اتجاهين متعاكسين. أما إفناء بروتون وبروتون مضاد فإنه يُنتج جسيمات قصيرة العمر ذات طاقة عالية تسمى بيونات. يمكن لهذه الجسيمات أن تُستخدم في تسخين قلب من التنكستن يكون الهدروجين قد مر فوقه، فيُنتج التمدد الحراري للهدروجين الدفع المطلوب.

تعتبر الآلة التي تستخدم الحقول المغنطيسية لتوجيه البيونات نفسها كدوافع أكثر كفاءة بشكل كبير، ولكن قد يكون الدفع الكلي أقل بكثير وذلك لوجود كميات قليلة جدا من هذه الدوافع.

ولقد اقترح <هاو> و<جاكسون> طريقة ثالثة باستخدام أقراصهما من المادة المضادة لتشغيل منظومة شراعية. إذ يتكون الشراع من كربون مطلي باليورانيوم، ويكون عمل اليورانيوم هو تفعيل انشطار نووي عندما تُطلق عليه أقراص صلبة من الهدروجين المضاد. وسيدفع انطلاقُ نواتج الانشطار الشراعَ، وهذا سيجر سفينة الفضاء. لكن فكرة تحفيز المادة المضادة للانشطار النووي بكفاءة ما هي إلا مجرد تخمين حتى هذه اللحظة.

للدراسات الطيفية، فإن هذا الاكتشاف يعتبر أخبارا سارة لهؤلاء الراغبين في اختبار التناظر CPT.

ويتفق كلا الباحثَيْن على أن إنتاج ذرات الهدروجين المضاد الملائمة للدراسات الطيفية هو التحدي الرئيسي الذي يواجه المجموعتين الآن. ولا بد لمثل هذه الذرات المضادة من أن تتصف بالخاصتين التاليتين: ليس فقط أن تكون أبرد من 0.5 كلفن بحيث يمكن للمحابس المغنطيسية أن تحتفظ بها، ولكن يجب أيضا أن تكون في حالتها الطاقية الدنيا.

يعمل مبطئ البروتونات المضادة عادة من الشهر 5 إلى الشهر 11 كل عام، ولكنه لن يعمل على الإطلاق عام 2005، إذ تم إغلاق مسرِّعات المركز سيرن CERN كإجراء اقتصادي نتيجة لتجاوز الميزانية الخاصة ببناء **مصادم الهادرونات الكبير** Large Hadron Collider. ويجب على باحثي الذرات المضادة أن ينتظروا حتى الشهر 2006/5 قبل أن يتمكنوا من استئناف معركتهم لإجبار التوأم الشيطاني للهدروجين على الاستسلام. ■

(*) Antimatter Propulsion: What Would it Take?

المؤلف

Graham P. Collins

محرر رئيسي في ساينتفيك أمريكان.

مراجع للاستزادة

Production and Detection of Cold Antihydrogen Atoms. M. Amoretti et al. in *Nature*, Vol. 419, pages 456–459; October 3, 2002.

Background-Free Observation of Cold Antihydrogen with Field-Ionization Analysis of Its States. G. Gabrielse et al. in *Physical Review Letters*, Vol. 89, No. 21, pages 213401-1–213401-4; November 18, 2002.

The Antiproton: a Subatomic Actor with Many Roles. John Eades in *CERN Courier*, Vol. 43, No. 6; July/August 2003. Available online at **cerncourier.com/main/article/43/6/17**

First Measurement of the Velocity of Slow Antihydrogen Atoms. G. Gabrielse et al. in *Physical Review Letters*, Vol. 93, No. 7, pages 073401-1–073401-4; August 13, 2004.

The ATHENA Web site is at **athena.web.cern.ch/athena/**

The ATRAP Web site is at **hussle.harvard.edu/~atrap/**

Additional information about antimatter and tests of CPT symmetry is online at **www.sciam.com/ontheweb**

Scientific American, June 2005

صعوبة التمييز بين الشيء ورمزه لدى صغار الأطفال(*)

كثيرا ما يحصل لصغار الأطفال في طريقهم لتعلّم أن شيئا ما يمكن أن يمثّل شيئا آخر، أن يدمجوا الشيء الحقيقي في الرمز الذي يمثله. وهذه الأخطاء تُظهر صعوبة البدء بالتفكير رمزيا(1).

<ج. S. ديلوش>

قبل نحو عشرين عاما، وجدت نفسي أمام واحد من هذه المواقف الرائعة، حين يُحْدِثُ تحولٌ لمجرى الأبحاث تحولا مثمرا غير متوقع. فقد كنت أقوم حينذاك على دراسة ذاكرة الأطفال في أعمارهم المبكرة، وأخذت في عمل تجربة على أطفال السنتين ونصف السنة وأطفال الثلاث سنوات. ولأجل هذا المشروع، أقمت نموذجا مصغرا لحجرة كانت جزءًا من مختبري. وكان المكان الحقيقي مؤثثا على هيئة حجرة معيشة حسب المعايير المألوفة، وإن كانت بالية بعض الشيء، وبها أريكة عليها وسائدها وكرسي بذراعين وخزانة وما إلى ذلك. وكانت المقابِلات المصغَّرة متماثلة إلى ما يقرب من التمام مع قطع الأثاث الكبيرة المقابلة لها؛ فكان لها الشكل نفسه وصنعت من المواد نفسها وغطيت بأنواع النسيج نفسها ووضعت في المواضع نفسها. وكانت الدراسة تقتضي أن يقوم طفل بملاحظتنا ونحن نقوم بإخفاء لعبة مصغرة ـ وكانت على هيئة كلب من البلاستيك أطلقنا عليه اسم «سنوبي الصغير» ـ في النموذج المصغر من الغرفة. وكنا نشير إلى ذلك النموذج المصغر للغرفة، باسم «حجرة سنوبي الصغير». وكنا نقوم بعد ذلك بتشجيع الطفل على العثور على «سنوبي الكبير». وكان موضوع تساؤلنا هو فيما إذا كان هؤلاء الأطفال يستطيعون استخدام ذاكرتهم عن الغرفة الصغيرة من أجل أن يكتشفوا المكان الذي يعثرون فيه على اللعبة في الغرفة الكبيرة.

وكان أطفال الثلاث سنوات موفقين كثيرا في هذا الشأن، وهو ما كنا نتوقعه؛ فبعد أن لاحظوا كيف أخفيت اللعبة الصغيرة وراء الأريكة المصغرة، فإنهم كانوا يسارعون إلى الغرفة ويجدون اللعبة الكبيرة وراء الأريكة الحقيقية. أما أطفال العامين ونصف العام فقد فشلوا، أمام اندهاشنا واندهاش أهاليهم، فشلا ذريعا. لقد كانوا يندفعون مبتهجين إلى الغرفة من أجل استعادة اللعبة الكبيرة، ولكن معظمهم لم يكن يدري أين يبحث، مع أنهم تذكروا المكان الذي أخفيت فيه اللعبة الصغيرة في النموذج المصغر للغرفة واستطاعوا العثور عليها بسهولة هناك.

إن فشلهم في استخدام ما عرفوه عن النموذج في استدرار استنتاج يخص الحجرة يدل على أنهم لم يدركوا العلاقة بين النموذج والحجرة. وسرعان ما انتبهتُ إلى أن دراستي تلك عن الذاكرة كانت في واقع الأمر دراسة عن **الفهم الرمزي** symbolic understanding، وأن فشل صغار الأطفال يشير حتما إلى أمر مهم في موضوع كيف ومتى يحصِّل الصغار القدرة على فهم أن شيئا ما يمكن أن يمثل شيئا آخر.

إن أعظم ما يميز البشر من غيرهم من الكائنات هو مقدرتهم على تكوين شبكة واسعة متنوعة من **التمثيلات** representations الرمزية والتعامل معها وبها. هذه القدرة تعيننا على نقل المعلومات من جيل إلى آخر، وبهذا تصير ظاهرة الثقافة ممكنة؛ كما تعيننا على تعلم مقادير واسعة من المعلومات من دون أن تكون لدينا تجربة مباشرة حولها. فنحن جميعا نعرف أمورا عن الدينوصورات مع أنه لم يحدث لنا مطلقا أن التقينا واحدا منها. وهكذا، بسبب الدور الأساسي **للترميز** symbolization في كل شيء تقريبا مما نفعله، فربما ليس ثمة جانب من جوانب النمو البشري أهم من أن يصير الكائن البشري ذا **عقلية رمزية** symbol-minded. وما هو هذا الذي سيكون أكثر تشويقا، هكذا انتهت بي أفكاري، من اكتشاف كيف يبدأ صغار الأطفال باستخدام **الأشياء الرمزية** symbolic objects وفهمها؟ وكيف يتوصلون إلى إحكام السيطرة على العناصر الرمزية التي تزخر بها الحياة الحديثة؟ ونتيجة لتلك التجربة حول الحجرة ونموذجها المصغر، والتي كانت مصادفة سعيدة مثمرة، فإنني حولت مجال اهتمامي من دراسة الذاكرة إلى دراسة التفكير الرمزي.

صور تدب فيها الحياة(**)

أول نوع من الأشياء الرمزية التي يتوصل الرضع وصغار الأطفال إلى إجادة التعامل معه بإحكام هو الصور. وقد يبدو للبالغين أنه لا توجد رموز أبسط منها، إلا أنني وزملائي في البحث اكتشفنا أن صغار

(*) العنوان الأصلي: MINDFUL OF SYMBOLS التنبه إلى الرموز.

(**) Pictures Come to Life

(1) حول نشأة وتطور القدرة على التفكير رمزيا لدى الإنسان العاقل الحديث، [انظر: «*بدايات الفكر الحديث*»، **العلوم**، العدد 9 (2005)، ص 54]. (التحرير)

الأطفال في بداية نموهم يجدون الصور مربكة لهم. وتنشأ المشكلة من **الثنائية** duality المتأصلة في جميع الأشياء الرمزية: فهي أشياء حقيقية في ذاتها ولها كيانها الخاص، ولكنها ــ في الوقت نفسه ــ هي تمثيلات لأشياء مختلفة. فلفهمها، على المشاهد أن يحقق **تمثيلا مزدوجا** dual representation: فالمشاهد ينبغي أن يتمثل الشيء ذهنيا، كما أن عليه في الوقت نفسه أن يتمثل ذهنيا العلاقة القائمة بين هذا الشيء وبين الشيء الآخر الذي يمثله.

منذ بضع سنوات، أخذت تحيرني حكايات كنت أسمعها، ومفادها أن صغار الأطفال لا يدركون الطبيعة المزدوجة للصور؛ ذلك أنني كنت أجد من يقول لي بين الفينة والفينة إن رضيعا حاول أن ينتزع تفاحة مصورة، أو إن آخر حاول وضع قدمه في صورة حذاء. لهذا، فإنني و<D. H. أوتال> [من جامعة نورث وسترن] قررنا أن نقوم بدراسة الأمر، مع أننا كنا نفترض أن مثل هذا السلوك ربما لا يحدث إلا نادرا، ومن ثم ستكون دراسته صعبة. ومن حسن الحظ أننا كنا مخطئين.

لقد بدأنا باختبار فهم الأطفال للصور بطريقة شديدة البساطة. فكنا نضع كتابا يحتوي على صور ملونة وشديدة الواقعية **لأشياء مفردة** individual objects أمام رضع من سن التسعة أشهر. وقد دهشنا حين وجدنا أن كل طفل من الأطفال في دراستنا الأولى، ومعظمهم في دراساتنا التالية، كان يمد يده من أجل أن يتحسس الصور أو أن يحكّها أو أن يربت عليها أو يخدشها بأظافره، بل إن بعض الأطفال وصلوا أحيانا إلى حد الإمساك بالأشياء المرسومة كما لو كانوا يحاولون انتزاعها من الصفحة.

لقد عرضت لنا فرصة فريدة لكي ندرك أن هذه الاستجابة إنما هي استجابة عامة عند سائر الأطفال، وذلك حين أخذت باحثة الأنثروبولوجيا <A. كوتليب> [من جامعة إلينوي] بعضا من كتبنا وآلة تصوير بالفيديو معها إلى قرية نائية من قرى قبيلة «بِنگ» في ساحل العاج. ولكن موقف الاختبار هناك كان مختلفا؛ فأطفال قبيلة «البنگ» كانوا يجلسون على الأرض أو في أحضان أمهاتهم فيما كانت الكتاكيت والماعز تتجول من حولهم، وكان من بين الأطفال الآخرين وأهل القرية من يلعب ومن يعمل ومن يتحدث ومن يضحك. ومع ذلك، فإن الأطفال الرضع من قبيلة «البنگ»، والذين ربما لم يروا من قبل صورة، استكشفوا بأيديهم الأشياء المصورة على النحو نفسه الذي فعله الرضع الأمريكيون.



تظهر الصور أمام الكثير من صغار الأطفال وكأنها تخادعهم، والعلة في ذلك أنهم لم يدركوا بعد التمثيل المزدوج؛ أي لم يدركوا بعد أن شيئا رمزيا (في حالتنا هذه: صورة شديدة الواقعية) هو تمثيل لشيء آخر (هنا: حذاء رياضي). لهذا يحاول كثير من الصغار التعامل مع صور الأشياء وكأنها هي الأشياء، مثلما يفعل هذا الطفل وهو يسعى إلى وضع قدمه في صورة الحذاء.

لقد بدا أن الخلط بين الشيء ورمزه إنما هو خلط في **التصور الذهني** conceptual وليس في **الإدراك الحسي** perceptual؛ ذلك أنه بمستطاع الأطفال تماما أن يدركوا الفرق بين الأشياء وصورها. وحينما يكونون أمام الخيار بين الشيء وصورته، فإنهم يختارون الشيء الحقيقي. ومع ذلك، فهم لا يفهمون تماما ما هي الصور ولا كيف تختلف عن الأشياء التي تمثلها («مدلولاتها» أو الأشياء «المحال إليها»). ولهذا يستكشفونها، فبعضهم ينحني ويضع شفتيه على فتحة في صورة فوتوغرافية لزجاجة على سبيل المثال. إلا أنهم لا يفعلون ذلك إلا حينما تكون صورة الشيء مشابهة له إلى درجة عالية، وهذه هي الحال مثلا في الصور الفوتوغرافية الملونة. ويحدث خلط من النوع نفسه في حالة صور الفيديو. فقد اكتشفت <S. بييروتساكُس> وزميلتها <G. L. تروست> [من جامعة ڤاندربلت] أن الرضع من سن التسعة أشهر الجالسين بجوار جهاز التلفزيون يمدون أيديهم ويحاولون انتزاع الأشياء المتحركة عبر الشاشة. ولكن حين كانت صور الأشياء قليلة الشبه نسبيا مع الأشياء الحقيقية، كما في حالة **الرسم التخطيطي** line drawing، فإن الأطفال نادرا ما كانوا يحاولون استكشاف أمرها.

أما حين يصل الأطفال إلى سن الثمانية عشر شهرا، فإنه يصير في مقدورهم إدراك أن الصورة ما هي إلا مجرد تمثيل لشيء حقيقي. وبدلا من التعامل مع الورق، فإن هؤلاء الأطفال يشيرون بأصابعهم إلى الصور ويسمون الأشياء التي فيها أو يسألون شخصا آخر عن أسمائها. وقد أمدتنا <M. A. برايسلر> [من جامعة ييل] و<S. كاري> [من جامعة هارڤارد] بمثال جيد على هذا النحو من النمو. فقد استعملت هاتان الباحثتان رسما تخطيطيا مبسطا لخفقة بيض من أجل تعليم أطفال في سن السنة والنصف والسنتين الكلمة الدالة على هذا الشيء الذي لم يكونوا قد رأوه من قبل. وقد اعتبر معظم الأطفال تلقائيا أن الكلمة تشير إلى الشيء نفسه وليس فقط إلى صورته. وبعبارة أخرى، فإنهم فسروا الصورة تفسيرا رمزيا؛ أي إنها المدلول نفسه وليست مجرد مشابه له.

وهناك عامل نظن أنه يسهم في تراجع الاتجاه نحو الاستكشاف اليدوي للصور، ألا وهو نمو **الضبط الكابح** inhibitory control عند الطفل، حيث تزيد تدريجيا، خلال السنوات الأولى من حياة الأطفال، قدرتهم على لجم اندفاعاتهم. هذا التغير العام في اتجاه النمو تسانده تغيرات في اللحاء الأمامي للمخ. ومن المفترض أن زيادة درجة الضبط الكابح تساعد الأطفال على التحكم في اندفاعهم نحو التعامل المباشر مع الصور، وهو ما يهيئهم للقيام بمجرد التفرج، على نحو ما يفعل البالغون.

وخبرة الأطفال مع الصور لابد أن لها أيضا دورا ما في هذا التطور. فمعظم الأطفال، في مثل مجتمعنا الغني بالصور،

يجدون أنفسهم كل يوم أمام صور أعضاء العائلة والكتب المصورة. مثل هذه التفاعلات تعلم الأطفال كيف أن الصور تختلف عن الأشياء، وكيف أنه من المفروض أن تكون موضوعا للنظر المتأمل فيها وللحديث بشأنها، وليس للعمل.

ومع ذلك، فإن الطفل يحتاج إلى عدة سنين حتى يستطيع أن يصل إلى فهم كامل لطبيعة الصور. فعلى سبيل المثال، وجد ‹J. H. فلاڤل› [من جامعة ستانفورد] وزملاؤه أن الأطفال حتى سن الرابعة يعتقدون أن قلب صورة طبق مملوء بالفشار رأسا على عقب سيجعل الفشار الذي في الصورة يسقط من الطبق.

وليست الصور هي المصدر الوحيد للخلط والارتباك في مجال الرموز لجميع الأطفال الصغار جدا. فلسنوات كثيرة، شاهدت وطلبتي كيف أن الأطفال، ممن لم يحسنوا المشي بعد، كانوا يدخلون إلى المختبر ويحاولون الجلوس على الكرسي الصغير جدا من أثاث النموذج المصغر، مما أدهش كل من شاهد ذلك. وقد لاحظ أيضا كل من ‹أوتال› و‹روزنكرن› في منزل كل منهما، ابنته وهي تحاول أن تستلقي على سرير لدمية أو أن تدخل في لعبة سيارة ضئيلة الحجم. ولما كانت ألوان السلوك هذه غير مألوفة فقد أثارت فضولنا وقررنا إخضاعها للدراسة.

أخطاء كليڤر[1](*)

أحضرنا أطفالا من أعمار تبدأ من ثمانية عشر شهرا إلى ثلاثين شهرا وأدخلناهم إلى حجرة احتوت، ضمن أشياء أخرى، على ثلاث لعب من الحجم الكبير: مزلقة منزلية، وكرسي بحجم الأطفال، وعربة بحجم يستطيع معه صغار الأطفال أن يدخلوا فيها وأن يحركوها في أرجاء الحجرة بأقدامهم. وبعد أن يقوم كل طفل باللعب مع كل واحدة من هذه اللعب مرتين على الأقل، فإنه كان يقاد إلى خارج الحجرة. بعد ذلك كنا نبدل اللعب الكبيرة، ونضع مكانها لعبا مماثلة تماما ولكن على هيئة مصغرة. وحينما كان الطفل يعود إلى الغرفة، لم نكن نقول شيئا عن التبديل الذي جرى، ونتركه يلعب بتلقائية، ولكن في حالة أن الصغير تجاهل اللعب المصغرة لمدة تزيد على ثلاث أو أربع دقائق، فإننا كنا نلفت انتباهه إليها.

بعد ذلك قمنا بفحص أفلام تصور سلوك هؤلاء الأطفال بحثا عما انتهينا إلى تسميته **بأخطاء التناسب** scale errors؛ وهي المحاولات الجادة للقيام بأفعال من الواضح أنها مستحيلة، بسبب الاختلافات الشديدة ما بين نسبة حجم جسم الطفل إلى حجم الشيء الذي يتعامل معه. هذا، وقد كنا متحفظين جدا في كل ما كنا نعتبره من أخطاء التناسب.

وقد ارتكب ما يقرب من نصف عدد الأطفال واحدا أو أكثر من هذه الأخطاء. فقد حاولوا جادين القيام بالأفعال نفسها، التي اعتادوا القيام بها مع اللعب الكبيرة، مع اللُّعب المصغرة المقابلة. فبعضهم جلس على الكرسي الصغير: كانوا يتجهون إليه، ويدورون من حوله، ويحنون ركبهم ويخفضون أجسامهم حتى مستواه. وبعضهم الآخر جلس بمنتهى البساطة على قمة الكرسي، كما جلس آخرون على الكرسي نفسه بقوة حتى إن الكرسي سقط على الأرض. وهناك أطفال غيرهم جلسوا على المزلقة المصغرة، وحاولوا أن يمتطوا ظهرها، وفي العادة كانوا يقعون على الأرض خلال هذه العملية، في حين حاول آخرون أن يصعدوا على درجها، وهو ما كان يجعل المزلقة تنقلب. (كان الصغار في مأمن من إصابتهم بأذى، حيث إن الكرسي والمزلقة كانا مصنوعين من البلاستيك القوي، وكان ارتفاع كل منهما لا يزيد على خمس بوصات). وقد حاول عدد قليل من الصغار أن يُدخلوا أنفسهم إلى العربة الضئيلة الحجم، وكما فعلوا مع العربة الأكبر تماما فإنهم فتحوا الباب وبذلوا جهدا لكي يدفعوا بأقدامهم إلى داخلها، وكان ذلك غالبا ما يتم مع مثابرة ملحوظة، بل بلغ الأمر بإحدى الصغيرات أن خلعت جوربها، وذلك على ما يبدو بأمل أن قدمها في هذه الحالة ستنسلك.

ومما هو جدير بالانتباه أن معظم الأطفال لم يُظهروا رد فعل أو قليلا منه إزاء فشل محاولاتهم مع النماذج المصغرة. وقد بدا اثنان أو ثلاثة غاضبين بعض الشيء، وظهر الارتباك على وجوه قلة منهم، ولكنهم سارعوا بعد ذلك بكل بساطة إلى القيام بعمل آخر. ونحن نعتقد أن ندرة حدوث رد الفعل ربما كانت شاهدا على أن الحياة اليومية لصغار الأطفال كثيرا ما تمتلئ بالمحاولات الفاشلة لعمل شيء أو آخر.

والتفسير الذي نقدمه هو أن أخطاء التناسب تنبع من **اللاترابط** dissociation ما بين استخدام معلومة بصرية من أجل التخطيط للقيام بعمل ما وبين ضبط تنفيذ ذلك العمل. فحينما يرى طفل نموذجا مصغرا لشيء مألوف لديه، فإن المعلومة البصرية - من قبيل شكل الشيء، ولونه وهيئة سطحه أو مادته وما إلى ذلك - تُنشط **التمثيل الذهني** mental representation لدى الطفل عن **مدلوله** referent. ويتزامن مع هذه الذاكرة البرنامج الحركي الذي يقوم على توجيه التفاعل مع الشيء الكبير والأشياء الأخرى المشابهة. وعند نصف عدد الأطفال الذين خضعوا لدراستنا، كان من المحتمل أن هذا البرنامج الحركي قد تم تنشيطه عندهم، ولكنه ما لبث أن أُعيق وكُبح، ولم يحاول الأطفال أن يتعاملوا مع النموذج المصغر على النحو نفسه

نظرة إجمالية / الرموز لا تُدرك بالبداهة(**)

- مع أن التفكير الرمزي هو سمة مميزة للكائن البشري، فإنه ليس بالأمر الذي يستطيع الأطفال في عمرهم المبكر القيام به، إنما الحاصل في المقابل أن الأطفال يأخذون في تعلم هذا النوع من التفكير عبر سنوات عدة.
- في هذه السيرورة يقع الأطفال الصغار في أخطاء مدهشة، ومنها الخلط بين الصورة الفوتوغرافية للأشياء وبين الشيء الحقيقي، والتعامل مع اللُّعب الصغيرة كما لو كانت أكبر حجما.
- من حيث الأساس، فإن إدراك معنى رمز ما يستلزم القيام بعملية تمثيل مزدوج dual representation. ولا يمكن أن يبدأ الأطفال بالتفكير رمزيا إلا حينما يستطيعون أن يميزوا بين الشيء وما يمثله.

(*) Gulliver's Errors

(**) Overview/ Symbols Are Not Intuitive

(1) شخصية خيالية قدمها كتاب: «رحلات كليڤر»، للكاتب الإنكليزي ‹جوناثان سويفت›، وهي تبدو ضئيلة إلى جوار العمالقة وكبيرة بالقياس إلى الأقزام. (التحرير)



يشيع الوقوع في أخطاء التناسب بين أطفال عمر السنة والنصف والسنتين والنصف الذين كثيرا ما يتعاملون مع أشياء صغيرة، على النحو نفسه الذي يتعاملون به مع أشياء مماثلة أكبر منها. وأخطاء التناسب هي مثال آخر عن الفشل في تحقيق تمثيل مزدوج. فهذا الولد لا يستطيع الجلوس على الكرسي، ويقع على الأرض كلما أعاد المحاولة. (في تجاربنا في المختبر، يمكن أن تكون الأشياء في أحجام أصغر وأصغر مما هي في هذه الصورة).

الذي تعاملوا به مع المقابل الكبير.

أما عند النصف الآخر من مجموعة الأطفال، فإن الروتين الحركي لم يتم إعاقته وكبحه؛ فما إن يبدأ الطفل بأداء **المتتالية الحركية النمطية** typical motor sequence، حتى توضع المعلومة البصرية حول الحجم الفعلي للشيء موضع الاستخدام من أجل القيام بالأفعال المناسبة على الوجه الصحيح. وعلى سبيل المثال، كان بعض الأطفال ينحنون فوق الكرسي الصغير وينظرون إلى ما بين أرجلهم من أجل تحديد مكانه الدقيق، وهؤلاء الذين حاولوا الدخول إلى العربة الصغرة كانوا يبدؤون بفتح بابها ومن ثم يحاولون إقحام قدمهم إلى داخلها. وحين كان الأطفال يقررون التعامل مع الشيء الشبيه، فإنهم كان يستندون إلى المعلومة البصرية التي تربطه بالشيء ذي الحجم العادي؛ أما من أجل وضع خطتهم موضع التنفيذ، فإنهم كانوا يستخدمون المعلومة البصرية حول الحجم الفعلي للنموذج المصغر من أجل توجيه حركاتهم. هذا **اللاترابط** dissociation في استخدام المعلومات البصرية يتوافق مع النظريات السائدة حول عمليات الإدراك البصري، وهي تلك التي تقول إن مناطق معينة من المخ تتعامل مع تعرف الأشياء والتخطيط للحركات، في حين تتعامل مناطق أخرى مختلفة مع تنفيذ الحركات وضبطها.

إن أخطاء التناسب تستلزم ضمنا الفشل في القيام **بالتمثيل المزدوج** dual representation؛ فالأطفال ليس في مقدورهم المحافظة على التمييز بين رمز ومدلوله (المحال إليه). ونحن نعرف هذا، لأن الخلط بين الشيء الرمزي ومدلوله لا يحدث حين لا يُتطلب تمثيلٌ مزدوج، وهو اكتشاف توصلتُ إليه حينما قمت مع ‹روزنگرن› و ‹K .F. ميلَر› [من جامعة إلينوى] بإقناع صغار من عمر العامين والنصف، بعد الموافقة التامة بالطبع من أهاليهم، بأن لدينا جهازا يستطيع تصغير الأشياء التي نصادفها في حياتنا اليومية.

الآلة السحرية(*)

وقد كان أملنا من استخدام دعوى **آلة التقليص العجيبة** amazing shrinking machine هذه هو أن نرى إن كانت الحاجة إلى التفكير في الحال في شيء واحد بطريقتين مختلفتين هي في صميم عدم قدرة صغار الأطفال على إدراك الرموز. وإذا كان الطفل يعتقد أن آلة قلّصت حجم شيء ما أو حجرة، فذلك يدل على أن النموذج المصغر هو في ذهن الطفل الشيء نفسه؛ وحيث إنه لا توجد علاقة رمزية بين الحجرة ونموذجها المصغر، فسيكون في مقدور الأطفال أن يطبقوا ما عرفوه عن النموذج الكبير على النموذج الصغير المقابل.

وقد استعملنا قدرات آلتنا السحرية من أجل تحويل اللعب إلى نسخ مصغرة من ذاتها وتقليص خيمة إلى حجم مصغر لها. وكنا نضع، أمام الطفل، لعبة في خيمة، وكانت اللعبة عبارة عن عروسة تغني وتتحرك، ذات شعر أرجواني لامع، ثم نوجه جهاز التقليص ناحية الخيمة. بعد ذلك كان الطفل والقائم على إجراء التجربة يغادران المكان إلى حجرة أخرى مجاورة، من أجل الانتظار حتى تُتم الآلة عملها، وحين يرجعان إلى المختبر، تكون أمامهما خيمة صغيرة وقد نصبت مكان الخيمة الكبيرة. (من الأمور ذات الأهمية الملحوظة حول هذه الدراسة أن الأطفال لم يدهشوا على أي نحو من وجود آلة باستطاعتها تصغير الأشياء، ولا من كونها بحاجة إلى أن تكون وحدها حين قيامها بذلك).

وحين كنا نسأل الأطفال أن يتوجهوا للبحث عن اللعبة، فإنهم كانوا يبحثون عنها فورا في الخيمة الصغيرة. ولما كانوا يعتقدون أن النموذج المصغر هو بالفعل الخيمة الأصلية بعد أن تقلصت، فإنهم كانوا ينجحون في استرداد اللعبة المخفية. وهكذا، وعلى غير حالة تجربتنا حول النماذج

(*) The Magical Machine



لا يستطيع طفل العامين إدراك العلاقة الرمزية بين نموذج مصغر لحجرة والحجرة نفسها. وهذا الولد باستطاعته رؤية اللعبة المخبأة وراء النبات في النموذج المصغر، ولكنه لا يستطيع أن ينظر ويبحث باتجاه ما وراء النبات في الحجرة الحقيقية.

المختلفة المقياس، فإن هؤلاء الأطفال لم يكونوا يحتاجون إلى القدرة على استخدام التمثيل المزدوج؛ فالخيمة الصغيرة كانت هي نفسها الخيمة الكبيرة. وبناء عليه، فقد كانت اللعبة في المكان الذي ينبغي لها أن تكون فيه، وذلك بحسب نظرة الأطفال في أول مشيهم، إلى العالم حولهم.

وفهمُ دور التمثيل المزدوج في الطريقة التي يستخدم بها الأطفال الرموز، له تطبيقات عملية مهمة. أحد هذه التطبيقات يتصل بعملية استخدام دمية العروسة في المقابلات التي تجرى مع صغار الأطفال في حالة قيام شبهة بأنهم تعرضوا لإيذاء جنسي. وغالبا ما يكون ضحايا الإيذاء الجنسي هذا من الأطفال الصغار جدا، الذين من الصعب إجراء مقابلات معهم. ومن ثم، فإن كثيرا من المهنيين المختصين، بمن فيهم ضباط الشرطة والمختصون الاجتماعيون وخبراء الصحة العقلية، يستخدمون اللعب الممثلة للإنسان ذات التفاصيل التشريحية المتعددة، وذلك انطلاقا من افتراض أنه من الأسهل على الطفل الصغير أن يصف ما حدث له باستخدام لعبة. ولنلاحظ أن هذا الافتراض يستتبع افتراضا آخر مضمونه أن الطفل الصغير سيكون قادرا على التفكير حول هذا الشيء بأنه في آن معا لعبة وتمثيل لها.

ولكن هذه الافتراضات أُخضعت للتساؤل وللتشكك من قبل <M. بروك> [من جامعة جونز هوپكنز] وآخرين كثيرين. ففي دراسات مستقلة متعددة، كان هؤلاء الباحثون يسألون أطفال ما قبل مرحلة المدرسة أن يخبروهم بما يتذكرونه عن فحص طبيب الأطفال لهم، وهل كان هذا الفحص يشمل فحصا لأعضائهم الجنسية. وقد استخدم هؤلاء الباحثون أحيانا لعبا تمثل الإنسان بها تفاصيل تشريحية عديدة، وأحيانا أخرى لم يستخدموها. وبصفة عامة، فقد ظهر أن إجابات الأطفال كانت أصدق وأصح حينما كان سؤالهم يتم من دون استخدام اللُّعب، وكانوا أقرب كثيرا إلى تزييف إجاباتهم المتصلة بالأعضاء الجنسية حينما كان يتم استخدام اللعب.

وبناء على أبحاثي التي تثبت بالوثائق الصعوبة التي يلاقيها صغار الأطفال في تفسير الأشياء الرمزية، فقد لاح لي خاطر أنه ربما كان صغار الأطفال جدا غير قادرين على إقامة صلة المقابلة بين أجسامهم وأجزاء لعبة تمثل إنسانا. وفي سلسلة من الدراسات في مختبري كانت تدور حول إمكان الطفل القيام بتحديد مكاني بسيط جدا، قامت الباحثة <C. سميث> بوضع لاصقة على مكان ما من جسم الطفل، على كتفه مثلا أو على قدمه، وكانت تسأل الطفل أن يقوم بوضع نموذج مصغر للاصقة في المكان نفسه من جسم اللعبة. وقد استطاع الأطفال البالغون من العمر ثلاث سنوات وثلاث سنوات ونصفا أن يضعوا اللاصقة في المكان الصحيح، أما أطفال ما دون الثالثة فإن من نجح منهم في ذلك يقل عن نصف عددهم. إن حقيقة أن

هؤلاء الأطفال الصغار جدا لا يستطيعون المقابلة بين جسمهم وجسم اللعبة في هذا الموقف المبسط إلى أقصى درجة، والذي لا يتطلب الإحالة إلى الذاكرة ولا يتضمن شحنات انفعالية، هذه الواقعة تؤيد الاتجاه العام القاضي برفض استخدام اللعب المفصلة تشريحيا في مواقف التحقيقات القضائية مع صغار الأطفال. (وانطلاقا من إثباتات عديدة قريبة من هذا الإثبات، فإن استخدام اللعب مع الأطفال تحت سن الخمس سنوات أصبح ينظر إليه بغير عين التأييد مقارنة بما كان عليه الحال من قبل، بل أصبح ممنوعا بالتشريع في ولاية واحدة على الأقل من الولايات المتحدة الأمريكية).

تشعبات تعليمية(*)

إن مفهوم التمثيل المزدوج يتضمن أيضا نتائج تخص العمليات التعليمية: ذلك أن المدرسين في فصول دور الحضانة والمدارس الابتدائية، في بلاد مختلفة من العالم، يستخدمون كتلا وقوالب وعصيا يمكن التعامل معها باليد ومصممة لتمثل كميات رقمية. والفكرة من وراء هذا هي أن هذه الأشياء الملموسة تعين الأطفال على إدراك مبادئ الحساب المجردة. ولكن، إذا لم يكن الأطفال يفهمون العلاقة بين هذه الأشياء وما تمثله، فإن استخدام هذه الأشياء اليدوية يمكن أن ينجم عنه نتيجة مضادة. هذا وإن بعض الأبحاث تشير بالفعل إلى أن الأطفال كثيرا ما يواجهون صعوبات وهم بصدد فهم الأشياء اليدوية واستخدامها.

وأقوم حاليا مع <M. أمايا> [من جامعة نورث وسترن] باختبار تأثير الخبرة مع الأشياء الرمزية في تعلم الأطفال للحروف والأرقام. وقد استخدمنا كتلا وقوالب مصممة للمساعدة على تعليم الحساب لصغار الأطفال، وعلّمنا أطفالا من سن السادسة وسن السابعة أن يحلوا مسائل الطرح التي تتطلب **الاستعارة** borrowing (وهي من العمليات التي كثيرا ما يجد الأطفال مشكلة في القيام بها). ثم جئنا بمجموعة مقارنة من الأطفال ليقوموا بالعمل نفسه، ولكن باستخدام الورق والقلم. وقد تعلمت المجموعتان كيف تتوصلان إلى حل المسائل بطريقة سليمة على السواء، مع هذا الفارق: إن المجموعة التي تستخدم الكتل والقوالب استغرقت ثلاثة أمثال الوقت الذي احتاجت إليه المجموعة المقارنة. وإحدى البنات، التي استخدمت الكتل والقوالب، قدمت لنا بعد انتهاء الدراسة النصيحة التالية: «ألم يخطر ببالكم مرة تعليم الأولاد هذه الأمور باستخدام الورقة والقلم؟ إن هذا لأسهل كثيرا.»

والتمثيل المزدوج يشكل أيضا عاملا مؤثرا في كثير من الكتب الموجهة إلى صغار الأطفال: ذلك أن هناك شكلا من الكتب أصبح عظيم الانتشار والشعبية، وهو ذلك الذي يحتوي على مواد يمكن التعامل معها يدويا ومصممة لتشجيع الأطفال على التفاعل مباشرة مع الكتاب نفسه ـ من قبيل **الحاشية المتحركة** flap التي يمكن رفعها فتظهر من تحتها صور، أو **الرافعة** lever التي عند شدها تجعل الصور تتحرك... إلى غير ذلك.

ولقد فكرت مع طالبة الدراسات العليا <C. تشي أونگ> أنه ربما أدت هذه المواد المتعامل معها يدويا إلى إلهاء الأطفال عما يقدمه الكتاب من معلومات. وبناء على ذلك، قمنا منذ وقت قريب باستخدام أنواع مختلفة من الكتب في تعليم الحروف لأطفال من سن الثلاثين شهرا. نوع منها كان بسيطا، من فئة كتب الألفباء على الطريقة القديمة، حيث يطبع كل حرف بشكل واضح بالبنط الأسود مصحوبا بصورة مناسبة، أي نوع الكتاب التقليدي الذي فيه «أ مثل أرنب»، و«ب مثل بطة»(1). ونوع آخر من الكتب كان كتابا يحمل عددا من المواد التي يمكن للطفل التعامل معها يدويا. وأما الأطفال الذين تعلموا بوسيلة الكتاب العادي، فإنهم استطاعوا بعد ذلك أن يميزوا عددا من الحروف أكبر مما استطاعه الأطفال الذين تعلموا مع الكتاب الأكثر تعقيدا. وبناء على هذا، نستطيع أن نفترض أن الأطفال يمكن لهم بسهولة أكبر أن يركزوا انتباههم على الكتاب العادي ذي البعدين، في حين أن الكتاب الآخر جعل انتباههم يتجه إلى أنشطة ذات ثلاثة أبعاد. فالأقل قد يكون الأجدى عندما يتعلق الأمر بالكتب التعليمية الموجهة لصغار الأطفال.

وكما تشير هذه الدراسات المتنوعة، فإن الرضع وصغار الأطفال تختلط الأمور عليهم أمام تعدد جوانب الرموز الواضحة بداهة للبالغين. فعلى الأطفال الصغار أن يتغلبوا على عدة عقبات في طريقهم نحو تكوين فهم وإدراك ناضجين لوظيفة الرموز وما تمثله. واليوم على الكثير منهم فهم كمٍّ من الرموز يزداد اتساعا. وهكذا، فلعل الفهم الأعمق للمراحل المختلفة التي يتوصل من خلالها الأطفال إلى التنبه إلى الرموز، يمكّن الباحثين من أن يحددوا ـ وأن يتعاملوا مع ـ مشكلات التعلم التي ربما تنطلق من صعوبة فهم معاني الرموز. ■

(*) Educational Ramifications

(1) في الأصل: A is for apple, B is for boy.

المؤلفة

Judy S. Deloache

*تخصصت في دراسة **النمو المعرفي المبكر** early cognitive development، ولا سيما نمو التفكير الرمزي، في جامعة فرجينيا، حيث تشغل منصب أستاذة كرسي William R. Kenan Jr. لعلم النفس. وتشغل أيضا وظيفة في قسم علم النفس بجامعة إلينوي التي حصلت منها الدكتوراه، وقد قامت بالتدريس هناك منذ أواخر السبعينات.*

مراجع للاستزادة

Jeopardy in the Courtroom: The Scientific Analysis of Children's Testimony. S. J. Ceci and M. Bruck. American Psychological Association, Washington, D.C., 1995.

Becoming Symbol-Minded. J. S. DeLoache in *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 8, No. 2, pages 66–70; February 2004.

Scale Errors Offer Evidence for a Perception-Action Dissociation Early in Life. J. S. DeLoache, D. H. Uttal and K. S. Rosengren in *Science*, Vol. 304, pages 1027–1029; May 14, 2004.

Film clips of children making symbolism-related errors can be seen at **www.faculty.virginia.edu/childstudycenter/home.html**

Scientific American, August 2005

الاختيار الأنسب ... بالبرهان(*)

كيف نتخذ القرار الأنسب؟ هناك طريقة رياضياتية جديدة بسيطة الصياغة ويسيرة التطبيق تمكّننا من بلوغ أفضل الاختيارات، سواء تعلّق الأمر بحياتنا اليومية أو بالنزاعات الخطيرة.

<T. بروس>

إن كان هناك ما يؤلم صاحب القرار فهو تلك الانتقادات الموجهة إليه بعد تنفيذ القرار المتخذ! فالقادة والأطباء والتجار ومستشارو المؤسسات ورجال السياسة وأنا وأنتم، الجميع يعرف الأسئلة الثقيلة المتعلقة بموضوع الاستنكار: «لماذا التزمتم في هذه القضية بينما هناك...؟ لماذا لم توقفوا هذا العلاج في حين كان واضحا أن...؟ لماذا لم تبيعوا الأسهم في الوقت الذي...؟ لماذا لم تستخدموا المكان الذي كان شاغرا في موقف السيارات...؟». هناك أحيانا أسباب معقولة لاختيارنا. فالطبيب الذي نعيب عليه مواصلة العلاج بأدوية تؤدي إلى آلام عديمة الجدوى يعلم سبب تشبثه بهذا الخيار: لم يكن واضحا أن دواءه سيكون غير فعال في وقت كان فيه المريض يعلّق عليه جميع آماله في الشفاء. لكن ما أصعب أن نبرّر قراراتنا تلك! ولذلك فنحن نسخر من أولئك الذين يعرفون كل شيء أفضل من غيرهم... بعد أن ينقضي الأمر، فمن السهل التنبؤ بالمستقبل بعد انقضائه.

ينبغي ألا تجيبوا عن مثل هذه الأسئلة بـ: «ماذا كنتم فاعلين في مكاني؟». بل يستحسن أن يكون المرء هنا استفزازيا وأن يجيب: «عندما يجب عليّ أن أختار من بين أخطاء مختلفة، فإني أقع دائما في خطأ لم أرتكبه من قبل.»

تقترح الرياضيات على جميع أولئك الذين يتخذون القرارات استراتيجية بسيطة لا تمثل حلا مذهلا، فهي لا تقوم مقام الخبرة والمهارات ولا تتطلب سوى حسابات يسيرة. وتقدم لكم هذه الطريقة خدمة بكيفيتين: أولاهما، في اتخاذ قرار جيد؛ وثانيتهما، في الدفاع عن القرار المتخذ من دون أن تكون الفكاهة وسيلتك الوحيدة في ذلك إذا تسبب قرارك هذا في وقوع مشكلة. وتشير هذه الطريقة الجديدة إلى السلوك الأمثل في بعض الحالات التي يكون فيها ما سيحدث مستقبلا غير مؤكد.

إنه من غير الممكن أن تقدّم استراتيجية رياضياتية حلا معجزة: فهي لا تعوّض التجربة أو المهارة، ولكنها تسمح بتفعيل استغلالهما. وإذا حدث أن ثبت أنها استراتيجية مثلى فعلينا أن نعيرها كل اهتمامنا، ذلك أن مثل هذه الاستراتيجيات المثلى وغير البديهية استراتيجيات نادرة.

لنتفحص حالة لا يكون فيها الاختيار صعبا ولا مأساويا وفي الوقت نفسه توضح الخوارزمية المقترحة في اتخاذ القرار: ظهور *الرقم 6 آخر مرة*.

تحديد آخر ظهور(**)

افترض أن عليكم رمي زهر النرد 12 مرة. وعندما تحصلون على الرقم 6 يجب أن تصرّحوا ما إذا كان ذلك هو آخر رقم 6 ستحصلون عليه خلال سلسلة الرميات؛ ثم تواصلون العملية حتى الرمية الثانية عشرة. فإذا لم يظهر الرقم 6 بعد أن صرحتم قبل ذلك بعدم ظهوره مستقبلا فقد فزتم، وإلاّ فقد خسرتم. لنفترض أنكم حصلتم بعد 12 رمية على المتتالية: 3، 6، 4، 1، 2، 6، 3، 6، 2، 5، 1، 3 فلن تفوزوا في هذه الحالة إلاّ إذا كنتم صرحتم إثر الرمية الثامنة (*باللون الأحمر*) بأن هذا الرقم 6 الثالث (في الظهور) هو آخر رقم 6 يظهر في سلسلة الرميات. وستخسرون أيضا إن لم يظهر الرقم 6 خلال الـ12 رمية. كيف يجب عليكم أن تراهنوا في هذه الحالة؟

أما المثال الثاني، المتعلق باختيار الوصفة الطبية في التجارب السريرية، فهو أقل اصطناعا وأكثر مأساوية. في معظم الأحيان يكون الأشخاص المصابون بأمراض خطيرة مستعدين ـ طمعا في تحسين غير مؤكد لحالتهم الصحية ـ لقبول علاج مخاطره كبيرة وأعراضه الجانبية خطيرة، مثل الجرعات الشديدة القوة من الأدوية الكيميائية.

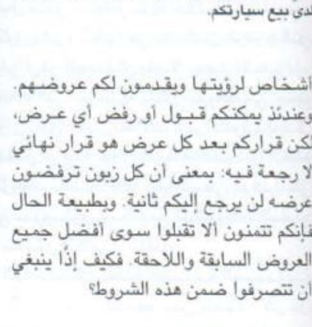
يواجه الأطباء اختيارا صعبا: إذا لم يكن العلاج قد خضع لتجارب كافية، فإنه يصعب تقييم مدى نجاحه وفعاليته. وعندئذ فإن هذا العلاج لا يستخدم بالتتابع إلاّ لمداواة عدد صغير من المرضى كي يستفيد كل منهم من نتائج العلاجات السابقة. ويمكن، بوجه خاص، توقيف العلاج أو العدول نهائيا عن تقديمه بسبب تدني نسبة نجاحه التي لا تبرّر تعريض مرضى آخرين إلى آثاره الجانبية. لكن، كيف يمكن اتخاذ قرار التخلي عن هذا العلاج؟ ما هي التعليمات الأخلاقية التي ينبغي للطبيب الجيّد التقيد بها؟ وكيف يمكنه تطبيقها؟

أما المثال الثالث، الخاص ببيع السيارات، فهو ذو طابع تجاري أكثر من المثالين السابقين؛ كما أنه أكثر تواترا. فإن أردتم بيع سيارتكم الرياضية خلال مدة لا تتجاوز شهرا مثلا، فسيتصل بكم

(*) هذه ترجمة للمقالة بعنوان: Le bon choix ... raisonné
وقد صدرت في عدد الشهر 2005/9 من مجلة *Pour la Science* الفرنسية، وهي إحدى أخوات العلوم الثماني عشرة التي تترجم مجلة *Scientific American*.
(**) Trouver la dernière occurrence



كيف نعرف أن اختيار هذا المكان الشاغر في موقف السيارات، البعيد عن المكان الذي نقصده، هو أفضل اختيار؟ يتم ذلك بخوارزمية «حظ الفوز» التي توفر أفضل فرص النجاح. إنها خوارزمية تنطبق على عديد من الحالات التي نصادفها يوميا، مثل اختيار أفضل عرض لدى بيع سيارتكم.



أشخاص لرؤيتها ويقدمون لكم عروضهم. وعندئذ يمكنكم قبول أو رفض أي عرض، لكن قراركم بعد كل عرض هو قرار نهائي لا رجعة فيه: بمعنى أن كل زبون ترفضون عرضه لن يرجع إليكم ثانية. وبطبيعة الحال فإنكم تتمنون ألا تقبلوا سوى أفضل جميع العروض السابقة واللاحقة. فكيف إذًا ينبغي أن تتصرفوا ضمن هذه الشروط؟

الفرصة المواتية الأخيرة(*)

في لعبة رمي زهر النرد، كان علينا تحديد آخر رقم 6، أي تحديد نتيجة أخيرة معينة. سنرى أن الطبيب يواجه مشكلة مشابهة في جوهره، لكنه أكثر إزعاجا.

لنتصور أن الطبيب يعرف كيف يتنبأ بعدد العلاجات الفعالة. مثال ذلك: يعالج عشرة مرضى والنتائج تكون مرتبة (من *اليسار إلى اليمين*) كالتالي: – – – – – + – – + – حيث ترمز الإشارة "+" إلى نجاح العلاج والإشارة "–" إلى فشله. وهكذا فلو كان الطبيب «عالما بالغيب» لأوقف التجارب العلاجية بعد المريض الخامس كي يتفادى الآلام التي لا جدوى منها بالنسبة إلى المرضى الخمسة الباقين.

غير أن الطبيب ليس نبيا، وعليه أن يكتشف أن آخر إشارة هي "+"، تماما مثلما يكتشف اللاعب الرقم 6 الأخير في متتالية رميات زهر النرد. إلا أن الطبيب، وخلافا لحالة لعبة زهر النرد، لا يعرف مسبقا احتمال الحصول على نجاح (+)، بل عليه تقييمه انطلاقا من التجربة المكتسبة، واتخاذ القرار وفق هذا التقييم الذي هو محلّ تحديث دائما.

كما أن بائع السيارة الرياضية يواجه مشكلة مشابهة تتمثّل في معرفة آخر أنسب عرض يُقدم إليه. لرؤية ذلك يعطي البائع لعرض من العروض العلامة S عندما يكون هذا العرض أفضل من جميع العروض السابقة، ويمنحه العلامة I في الحالة المعاكسة. وهكذا فإن جملة العروض التي ستقدم للبائع، وهو لا يعرفها، ستتمثّل في متتالية مكوّنة من الحرفين S و I. وكل ما يريده البائع هو قبول عرض علامته S، يستحسن أن يكون آخر عرض يحمل هذه العلامة لأنه سيمثّل بالتأكيد أعلى عرض من العروض المقدّمة.

إن النتيجة الأخيرة المواتية (التي سنسميها في ما يلي «الفرصة السانحة») تؤدي دورا رئيسيا. ولما كنّا نتمتع بحرية كبيرة في تعريف ما يمكن أن يشكل «نتيجة مواتية» (كنا طرحنا عدة أمثلة: رقم 6، المعالجة، أعلى عرض) فإن صياغتنا تنطبق على العديد من الحالات. والمهمّ معرفته هنا هو أنه إذا ضيعنا فرصتنا الأخيرة، أي الفرصة السانحة الأخيرة، فليس هناك مجال للتراجع، فالتاريخ لا يعيد نفسه!

وهناك عامل ثان مشترك يتمثل في الاستقلالية. فكل رمية لزهر النرد حدث مستقل؛ وكذلك ردّ فعل كل مريض إزاء العلاج مستقل عن المرضى الآخرين، كما أن كل عرض سعر لشراء السيارة الرياضية لا يرتبط (نحن نفترض ذلك) بالعروض السابقة.

وأخيرا، هناك عامل ثالث: هو عامل الشك. إننا لا نعرف متى يظهر الرقم 6 للمرة الأخيرة، ولا نعرف متى تظهر آخر علامة +، ولا متى يتقدم أعلى عرض. وهكذا فنحن نستبدل توقعا محددا بأفكار واستنباطات احتمالية.

هنا تبدأ **النمذجة** modélisation الرياضياتية. إننا لن نعالج رمي زهر النرد ولا التطبيب ولا عروض البيع كحالات منعزلة، بل سنكتفي بتناول نتيجة واحدة قد تكون مفيدة (مثل عدم ظهور الرقم 6، وسوء العلاج، وتدنّي عرض البيع) أو تكون فرصة سانحة. ولن نعتبر غير ذلك من الحالات، وسنعبّر عن شكوكنا بمنح احتمال لكل فرصة سانحة.

فيما يخص زهر النرد فالأمر بسيط: إن احتمال الحصول على الرقم 6 يساوي سدسا (1/6). أما السيارة الرياضية فالملاحظ أن التقييم معقد قليلا لأن احتمال ظهور فرصة سانحة (أي عرض أعلى) يتناقص إثر كل عرض جديد. وإذا فكّرنا في حالة العلاج الطبي فسندرك أن الطبيب يعيّن الاحتمالات خلال التجربة. ونجد الوضع ذاته في حال اتخاذ قرارات تخص الاستثمار، وكذا في العديد من المسائل الأخرى؛ فمثلا، هل ينبغي لكم أن توقفوا سيارتكم في المكان الموجود أمامكم، أم يستحسن الاقتراب أكثر من قاعة المسرح، مع العلم أنكم ربما لا تجدون هناك مكانا شاغرا تتركون فيه سيارتكم؟

عندما نعرف هذه الاحتمالات أو على الأقل عندما يوجد لدينا تقدير جيّد لها، فإننا نحصل على النتيجة بعد إجراء بعض الحسابات البسيطة: لنرمز بـ s للقيمة العددية لهذه النتيجة. وعليه تكون الاستراتيجية المثلى هي أن نغتنم أول فرصة سانحة تأتي إثر الحدث ذي الرقم s في المتتالية. وسنرى لاحقا كيف نحدّد القيمة s، واحتمال فوز الاستراتيجية الموافقة للقيمة s.

La dernière chance? (*)

تشير الدراسة النظرية إلى نسبة النجاح لهذه الاستراتيجية: إن احتمال اتخاذنا أفضل القرارات الممكنة سيكون دائما أكبر من 36.7 في المئة، ونموذجيا أكبر من 40 في المئة. وتبدو نسب النجاح السابقة غير مرتفعة، وقد يشعر العديد من أصحاب القرار بأنهم يحققون، في المتوسط، نجاحات تفوق تلك النسب، غير أن الشعور وواقع الحال أمران مختلفان! فإذا باع وكيل عقاري خلال أربعة أسابيع شقة بأعلى سعر بلغته عند ذلك التاريخ سيبدو له أنه فاز فوزا عظيما. وبذلك يكون قد نسي بسرعة بأن الزبائن تركوا له مهلة أربعة أشهر لإنجاز عملية البيع. وكان من الممكن أن عرضا تاليا سيأتي بسعر أعلى من السعر الذي بيعت به الشقة فيصبح الفوز الذي سجله الوكيل فوزا منقوصا.

إن النموذج الذي نعرضه لا يمثّل أفضل سعر يمكن تحقيقه عند عملية البيع، بل يمثّل أفضل سعر نستطيع بلوغه خلال الفترة المعطاة. فعملية بيع سريعة قد تكون مثلى، شأنها في ذلك شأن الرقم 6 الذي قد يظهر في الرميات الأولى لزهر النرد، لكن ذلك لا يحدث إلا نادرا.

إن **الأمثلة** optimisation التي نعرضها يمكن تطبيقها في جميع ميادين الحياة، حتى وإن تعلق الأمر بحالات غير متوقعة، مثل السياسي الذي ينتظر أفضل فرصة خلال الحملة الانتخابية لإقناع الجمهور بأفكاره، أو مثل مدير الشركة الذي يرغب في الرهان على أفضل وقت للدخول إلى سوق البورصة. ومع أن تعريفنا للنجاح مقيد إلى حد ما إلا أننا سنحقق الكثير إن بلغناه.

لا شك أن الأطباء والباحثين في قطاع الصناعة الصيدلانية سينظرون إلى خوارزمية «الأرجحية» بتحفظ نحن نتفهّمه لأن حل القضايا الطبية والصيدلانية يعتبر من أصعب المشكلات المطروحة. وقد يتطلب تقييم نجاح علاج مدة أطول من تلك التي تتوافر لدى الطبيب قبيل اتخاذ القرار. لذا فإن تقييم احتمالات الفرص السانحة أمر صعب، ومع ذلك يظل النموذج الرياضياتي صحيحا.

كما أنه من الجائز أن يرغب مريض في الاستفادة من علاج تكون التجارب قد بيّنت إحصائيا أنه علاج ينصح بالعدول عنه. وحينئذ سيشرح الطبيب مطولا العوامل التي ينبغي اعتبارها. غير

خوارزمية «حظ الفوز»(*)

لتكن $E_1, E_2, ..., E_k, ..., E_n$ متتالية أحداث مستقلة عددها n. ولدى ظهورها المتوالي، نَصِف الحدث بأنه «فرصة سانحة» (الحالة التي قد تكون مواتية) أو أنه «حدث غير مهم». وليكن p_k احتمال أن يكون E_k فرصة سانحة. وعلينا أن نحدد فرصة سانحة واحدة توقف المتتالية.

كيف نحدّد الاحتمال p_k في **لعبة زهر النرد**؟ نلاحظ أن كل رمية مستقلة عن غيرها، وكل رقم 6 يمثّل فرصة سانحة: فالاحتمال p_k في هذه الحالة يساوي 1/6 مهما كان العدد k. وفي حالة **بائع السيارة الرياضية** يكون الاحتمال $p_k = 1/k$ لأن أفضل عرض ـ من بين الأحداث الأولى البالغ عددها k ـ يمكن أن يظهر في أي موقع عندما يتعلق الأمر بمتتاليات متساوية الاحتمال. ولذلك فأعلى عرض، من بين العروض الأولى البالغ عددها k، له احتمال الظهور في الموقع الأول يساوي احتمال ظهوره في الموقع الثاني أو في الموقع k. أما في **حالة التجارب السريرية** فعلينا تقدير الاحتمال p_k كما سنرى لاحقا.

لنعرّف أيضا $q_k = 1 - p_k$، أي إن q_k يمثّل احتمال أن يكون الحدث E_k غير مهم، وأخيرا نعرّف الكسر $r_k = p_k/q_k$ الذي سنسميه «حظ الفوز» ("odds" بالإنكليزية، وليس لهذه الكلمة في الفرنسية ترجمة جيدة). لنكتب جميع الأعداد p_k و q_k و r_k الواحد تحت الآخر انطلاقا من الأخير (الحالة $k = n$):

$$p_n, p_{n-1}, p_{n-2}, ...$$

$$q_n, q_{n-1}, q_{n-2}, ...$$

$$r_n, r_{n-1}, r_{n-2}, ...$$

إن كل عدد r_k يساوي نسبة العددين فوقه من الرتبة نفسها. لنجمع الأعداد r_k من اليسار إلى اليمين حتى يصبح المجموع يساوي 1 أو أكبر منه. وبذلك نكون قد جمعنا قيما متناقصة لـ n، $r_n + r_{n-1} + ... + r_s = R_s$، إلى أن بلغ R_s القيمة 1 أو تجاوزها. إن الرتبة s التي تحقق هذه الخاصية تمثل ما يسمى «دليل التوقف». وإذا حدث، بعد جمع الحدود كلها، أننا لم نبلغ القيمة 1، فإننا نضع $s = 1$. لنضرب الآن الأعداد q_k فيما بينها بترتيب متناقص من n حتى s، $Q_s = q_n q_{n-1} ... q_s$. وهكذا تنص الاستراتيجية على ما يلي: ننتظر وقوع الحدث ذي الدليل s ونتوقّف بعد ذلك عند أول فرصة سانحة (إن ظهرت مرة أخرى).

إن هذه الاستراتيجية مثلى، واحتمال نجاحها W يساوي الجداء $R_s.Q_s$. لنقيّم ذلك من خلال الأمثلة المختلفة التي أوردناها.

في حالة لعبة زهر النرد: $p_k = 1/6$. إذاً $q_k = 5/6$ و $r_k = p_k/q_k = 1/5$، وذلك مهما كان k. ومن ثمّ فمجموع «حظوظ الفوز» $1/5 + 1/5 + ...$ يساوي (بالضبط) 1 بعد الحد الخامس. فالحل الأمثل إذاً يتمثل في التوقف عند ظهور أول رقم 6 خلال الرميات الخمس الأخيرة: أي ابتداء من الرمية الثامنة. وعندئذ يكون احتمال الفوز $R_s.Q_s = 1.(5/6)^5 = 0.4019$.

حالة بيع السيارة الرياضية: نفترض أن هناك 8 أشخاص جادون في شراء السيارة. إذا لم تتوافر معلومات إضافية فإن احتمال أن يكون العرض ذا الرقم k أفضل العروض هو $p_k = 1/k$ (وهذا ينطبق بطبيعة الحال حتى لو كان $k = 1$). وعليه يكون: $q_k = (k-1)/k$ و $r_k = 1/(k-1)$. والمتتالية $r_8 + r_7 + r_6 + r_5 + r_4$ هي $0.1428 + 0.1666 + 0.2 + 0.25 + 0.3333$. وآخر حدّ في المجموع يجعله أكبر من 1، وعليه $s = 4$، فعلينا قبول العرض ابتداء من الزبون الرابع إذا كان هذا العرض أعلى من سابقيه. أما احتمال أن يمثل هذا العرض أفضل العروض فهو $R_s.Q_s = (1.093)(0.375) = 0.41$.

مثال التجربة السريرية: لا يمكننا تعيين p_k (وعليه لا يمكن تعيين r_k أيضا)

(*) L'algorithme des "odds"

أنه إذا لم تُغيّر الحجج المبنية على الاحتمالات رغبة المريض فعلى الطبيب الامتثال لتلك الرغبة. فمن حقّ المريض أن يراهن على حظه في نجاح ذلك العلاج حتى وإن كانت الاحتمالات ضد ذلك.

ومع أن القرارات التي تتخذ على أساس أفكار احتمالية، تعتبر في معظم الأحيان قرارات تفتقد إلى الحرارة وإلى الروح الإنسانية، إلا أنها أفضل القرارات الممكنة. وتمثّل هذه الطريقة وسيلة تسمح ببلوغ هدف نبيل؛ ألا وهو الحصول على أفضل احتمال نجاح والحد بقدر المستطاع من الآلام الزائدة.

عزيزي القارئ، ماذا يمكن أن توفّر لك الخوارزمية التي أقترحها عليك والمسماة خوارزمية حظ الفوز[1] *(انظر الإطار في أسفل هاتين الصفحتين)*؟ إنها توفّر أكثر مما هو ظاهر لأن مرونتها تجعلها في معظم الحالات قابلة للاستعمال في حالات غير متوقعة.

تكيّف انتخابي[*]

افترض أنك من رجال السياسة وتريد الفوز في الانتخابات؟ إنه لا يكفي أن تكون حججك قوية، بل عليها أيضا أن تُعرَض في الوقت المناسب. من المؤسف حقا أن نرى حججا مقنعة إلى حد بعيد قبل بضعة شهور، تفقد قوتها وفعاليتها قبيل موعد الانتخاب! فتكرار تقديم تلك الحجج لا يفيد لأن قيمة الحقيقة لا تزداد بتكرارها، خلافا للكذب. وخلال الفترة الزمنية التي انقضت بين عرض الحجج والاعتماد عليها في الانتخابات تكون الأحزاب الأخرى قد شمّرت عن سواعدها وحضّرت حججا مضادة. ومن هذا ندرك أن «الفرصة الأخيرة» لتقديم الحجج بفعالية تؤدي دورا حاسما.

لكن، من ذا الذي يمكنه أن يعرف مسبقا عدد الأحداث والفرص السانحة؟ دعنا نغتنم هنا بساطة النموذج: نعرّف الفرص السانحة كأحداث مناسبة (أو مهمة)، كما نعرّف اللاأحداث[2] (لا شيء يحدث، أو أن ما يحدث عديم الأهمية) على أنها أحداث غير مناسبة (أو غير مهمة). ولذلك يكفي في كل يوم اعتبار العدد k كتجربة يمكن أن يظهر فيها، باحتمال e_k، حدث يكون مناسبا باحتمال g_k. نسلّم بأن



بطريقة بسيطة، إذ يجب علينا تقديرهما انطلاقا من المشاهدات. ولما كنّا نريد، في حالة «حظوظ فوز» مجهولة، استخدام جميع المعلومات الآنفة من أجل تقدير تلك «الحظوظ»، فإنه من المستحسن استعمال الصياغة التالية: بافتراض أن «حظوظ الفوز» معروفة سيكون دليل التوقف **s** مساويا لقيمة k التي من أجلها يكون المجموع $r_n + r_{n-1} + ... + r_{k+1}$ أقلّ من 1. ويمكننا تقدير «حظوظ الفوز» (كما سنرى لاحقا) انطلاقا من الملاحظات السابقة.

لندخل في اعتبارنا في البداية الحالة التي تكون فيها جميع الاحتمالات p_k متساوية، إذًا $p_k = p$ حيث p عدد مجهول. إننا لا نعرف مدى فعالية الدواء الجديد، غير أننا سنفترض، في غياب توافر معلومات أكثر دقة، أن للدواء نفس احتمال النجاح لدى جميع المرضى. وعندئذ تكون جميع «حظوظ الفوز» r_k مساوية لنفس العدد المجهول r، ويأخذ الشرط $r_{k+1} + ... + r_{n-1} + r_n < 1$ الشكل التالي $(n - k)\, r < 1$ أو $n - k < 1/r$.

وهكذا تتمثل فكرة الحل في تعويض العدد المجهول الوارد في الشرط السابق بقيمة مقدّرة r_k^*. نحسبها انطلاقا من جميع المشاهدات التي أجريت حتى الحدث ذي الرتبة k. وينبغي لهذه القيمة «التقديرية» أن تفي بشروط إحصائية معينة (لن نتناول هنا تفاصيلها) وأن تكون سهلة الحساب.

نرمز بـ G_k لعدد الفرص السانحة التي تمت مشاهدتها حتى بلوغ الرتبة k. سنرى أن القيمة التقديرية r_k المساوية لـ $r_k^* = G_k /(k + 1 - G_k)$ تتوفر فيها الخصائص الرياضياتية المطلوبة.

للتأكد من ذلك نلاحظ أن الفرص غير السانحة حتى الحدث ذي الرتبة k يساوي $k - G_k$؛ ولما كان التواتر النسبي يمثل تقديرا جيدا للاحتمال فإن القيمة G_k/k ستمثّل تقديرا جيدا لـ p، كما ستكون $(k - G_k)/ k$ قيمة تقديرية لـ q. وهكذا يتضح أن النسبة $G_k/(k - G_k)$ تمثل بدورها قيمة تقديرية جيدة لـ r. لماذا نجد في هذه الحالة $k + 1$ بدلا من k في مقام r_k^*؟ نلاحظ في البداية أن نسبة قيمتين تقديريتين جيّدتين لا تمثّل دائما قيمة تقديرية جيّدة للنسبة المعتبرة. ومن ناحية ثانية فنحن، قبل هذا وذاك، لا نطالب قيمتنا التقديرية بشيء إلا عندما يُطرح سؤال وجيه، أي عندما يكون الحدث الأخير فرصة سانحة (حدث مناسب). وإذا ما عملنا بهذا الخيار في جميع الحالات الممكنة فإننا سنضخّم تلقائيا نسبة الفرص السانحة، وسيتضخّم بذلك الاحتمال p. هذا ويمكن إجراء حساب بسيط نسبيا (لن نورده هنا) يبيّن أن ذلك التضخم يتمّ إصلاحه عند تعويض k بـ $k + 1$ في العلاقة التي تعطي r_k^*.

وهكذا يكون النصّ المعدّل لاستراتيجية «حظوظ الفوز» كالتالي: عندما يوفّر الحدث ذو الرتبة k فرصة سانحة ينبغي إمساكها إذا كان $n - k < (k + 1 - G_k) / G_k$؛ وإذا كان الأمر غير ذلك فيستحسن الانتظار (لاحظ أن G_k هو دائما أكبر أو يساوي الواحد).

عندما تختلف حظوظ النجاح باختلاف الرتبة في متتالية الحالات، ينبغي التمكّن من تقدير r_k^* انطلاقا من المشاهدات السابقة. وهناك حالة مهمة تحدث عندما يكون $p_k = p \times f_k$ حيث f_k عدد بين الصفر والواحد، وهي تعبّر عن الحالة الصحية (المعروفة) للمريض رقم k. إن للعلاج الجديد احتمال p (مجهول) ليكون فعالا، لكن بقدر ما تزداد حالة المريض سوءا بقدر ما تكون آفاق النجاح ضعيفة. ذلك ما يعبّر عنه العامل f_k. ومن ثمّ نرى أن خوارزمية «حظ الفوز» قابلة للتطبيق هنا أيضا.

(*) Adaptation électorale

(1) l'algorithme des "odds" حساب نسبة الفوز (أو الربح) إلى الخسارة.

(2) non-événements

استراتيجية «حظوظ الفوز» استراتيجية مثلى![*]

يتم البرهان على أمثلية استراتيجية «حظ الفوز» في عدة مراحل. نقتصر في البداية على تناول استراتيجيات تتبع نموذج «حظ الفوز»: ننتظر في هذا النموذج ظهور عدة أحداث، ونتوقف لدى ظهور أول فرصة سانحة. والعامل الوحيد المتغير هو «دليل التوقف»، أي عدد الأحداث المنتظرة قبل التوقف.

ولكي نثبت أن استراتيجية «حظ الفوز» استراتيجية مثلى مقارنة بتلك التي نسميها «استراتيجيات ذات دليل توقف» يكفي مبدئيا أن نُعدِّد متتاليات الأحداث الممكنة وأن نطبق على كل منها الاستراتيجيات المنافسة، ثمّ نلاحظ أن استراتيجية «حظ الفوز» توفّر أعلى احتمال نجاح. إن القيام بهذا العمل في الحالة العامة ـ وليس في حالة خاصة ـ يتطلب إجراء حسابات شاقة ومملة، لكنها مقنعة.

ولحسن الحظ، فإن نظرية الاحتمالات تزودنا بأدوات تجعلنا نتفادى معالجة كمّ كبير من الحالات الخاصة المعقدة. لنربط كل حدث مستقبلي بمتغير عشوائي يأخذ القيمة 1 (الفرصة السانحة) باحتمال p_k، ويأخذ القيمة 0 (فرصة غير سانحة) باحتمال q_k. نعتبر أننا فزنا عندما لا تبقى سوى فرصة سانحة واحدة ابتداء من «دليل التوقف» حتى النهاية. وهذا يعني أن مجموع هذه المتغيرات العشوائية يساوي 1. ربما يعتبر البعض هذا التفسير غريبا. لكن الواقع يؤكد أن هذه الحيلة تؤتي أكلها.

ذلك أننا نجد، بفضل دوال، تسمى دوال مولِّدة، عبارة أنيقة لاحتمال أن يأخذ المجموع المشار إليه القيمة 1 (لاحظ أن شرط استقلالية الأحداث العشوائية متوافر حسب الفرض). ثمّ نواصل الحساب بفضل العبارة التي حصلنا عليها فندرك أن استراتيجية «حظ الفوز» هي المثلى من بين الاستراتيجيات التي لها دليل توقف.

يمكننا أن نتصوّر استراتيجيات أخرى كثيرة، غير تلك المرتبطة بدليل توقف، لكن تظل استراتيجية «حظ الفوز» متفوّقة عليها. وهذه الاستراتيجيات البديلة لا تأتي بجديد لأنها لا تحمل معلومات إضافية تمكّنها من زيادة حظوظ نجاحها. ونشير على وجه الخصوص إلى أن نموذجنا الرياضياتي الأولي لا يمكّننا من الحصول على معلومات جديدة من الملاحظات السابقة، وذلك لكون الأعداد p_k مثبتة منذ البداية. ويمكننا أن نبرهن على ذلك بمنطق سليم وبشكل مقنع حدسيا. كيف؟ بإثبات أن نموذجنا يمثِّل ما نسميه «حالة رتيبة» un cas monotone، حيث لا تراجع عن أي فعل. ويمكن الحصول على تفاصيل إضافية حول هذا الموضوع بالبحث مستخدمين مصطلح «الحالة الرتيبة» ككلمة مفتاحية.

والآن، ما العمل عندما نكون أمام عرض (أو فرصة سانحة أخرى) يبدو لنا أنه خارق للعادة إلى حد يجعلنا نعتقد أنه من الأفضل التوقف عنده قبل ظهور «دليل التوقف» الذي تحدِّده لنا الحسابات النظرية؟ إن لديكم ـ بفضل هذا الحدث الاستثنائي ـ معلومات تفوق ما كان لديكم في البداية وقت صياغة نموذجكم! إن استراتيجية «حظ الفوز» لا تكون مثلى إلا بالنسبة إلى المعلومات المدمجة في النموذج. فالمعلومات الجديدة تؤدي إلى نتائج جديدة: هذا ما ينبغي تقبّله.

الأحداث مستقلة، ونكتب عندئذ المساواة $p_k = e_k \cdot g_k$ قبل استعمال خوارزمية حظ الفوز. لنفترض أن إحدى حججك (الانتخابية) تتعلق بالبطالة، وأن مرشح الحزب الخصم لا يتناول موضوع البطالة، وأنه لا يشير إليه إلا بمعدل مرة واحدة كل أسبوعين. لنضع $e_k = 1/14$. إذا قدّرت بأن احتمال تمكنك من إبطال حجة الخصم بحججك يساوي 1/3، فذلك يعني أن لديك $g_k = 1/3$. ومن ثمّ فإن $p_k = e_k \cdot g_k = 1/42$. يعتبر هذا النموذج أبسط النماذج المعروفة. وفي كثير من الأحيان تكون لديك معلومات أوفر من ذلك، فقد تعرف مثلا الموعد القادم الخاص بنشر أعداد العاطلين عن العمل. وهكذا يمكن تقدير اتجاه تغيّر e_k و g_k، ومن ثمّ تغيير قيمهما في ضوء ذلك.

من حقك التأكد من الفرضيات، لكن اطمئن من هذا الجانب، فحتى لو كانت بعض الفرضيات غير صحيحة تماما لأن الاستراتيجيات الجيدة تقلل من الآثار السلبية للفرضيات غير الدقيقة، اتخذ فرضيات متنوعة: اعتبر نموذجا لكل حجة من حججك المتميزة، وبذلك تكون لديك مجموعة ممتازة من الاستراتيجيات.

التكيف مع سوق البورصة[**]

هل أنت من اللاعبين في سوق البورصة؟ لا نرغب في تشجيعك على ذلك، لكن إن كنت من اللاعبين، فإن الاقتراح التالي يمكن أن يفيدك. إن

(*) La stratégie des "odds" est optimale!
(**) Adaptation boursière

هدف كل مضارب هو شراء أسهم بأقل الأسعار، ثم بيعها بأعلاها خلال مدة معينة. إنه هدف لا يبدو معقولا لأن حظوظ الفوز غالبا ما تكون فيه جدّ ضعيفة. ومن جهة أخرى، ليست الأسعار مستقلة عن تلك التي كانت سارية بالأمس. وعليه ففرضيات نموذجنا، ومنه خوارزمية «حظ الفوز»، لا يمكن استعمالها لبلوغ هذا الهدف المثالي.

لنعتبر هدفا آخر، مثل شراء سهم بأقل سعر (المسمى «كاسا» cup بلغة البورصة). إن هذا الشراء يعتبر فوزا لأننا نستطيع بيع السهم في اليوم التالي حتى لو كان الربح المحقق بسيطا. وهنا نلاحظ أن الفرصة السانحة لم تحدد هذه المرة بسعر، بل حددت بالفرق في السعر مقارنة بسعر اليوم السابق؛ ولذا تصبح فرضية الاستقلالية مقبولة. والجدير بالملاحظة هو أنه حتى وإن كان تقدير احتمال ظهور «كاس» أمرا معقدا لدى المضاربين المحترفين أنفسهم فإنه يظل تقديرا ليس أكثر تعقيدا من تقدير تطور السعر ذاته. لقد كيفنا هنا المسألة للتمكن من استخدام خوارزمية «حظ الفوز».

حدود النظرية(*)

تقتضي النزاهة ـ على الأقل لجعل النظرية أكثر مصداقية ـ أن نشير إلى حدودها وأن نعرف متى يمكن تطبيق استراتيجية «حظ الفوز» بفعالية. والتشخيص هنا جوهري: يمكننا دائما تطبيقه إذا كان هدفنا هو تأخير إيقاف العملية ما أمكن عند وقوع حدث معين وإذا كانت الأحداث المختلفة المتعاقبة مستقلة.

لقد أوضحنا أن الهدف مرن وقابل للتكيّف مع عدة حالات. غير أن كل حدث يجب أن يكون مستقلا عن الأحداث التي سبقته: إن استقلالية الأحداث خاصية بالغة الأهمية، فبقدر ما تكون شروط تطبيق فرضية الاستقلالية غير متاحة بقدر ما تسوء النتائج.

ولكي نمتحن متانة النظرية بالنسبة إلى استقلالية الأحداث دعنا نرجع إلى حالة بيع سيارة. لقد كان العرض ذو الرقم k، ضمن فرضية استقلالية الأحداث، هو أفضل عرض من بين العروض التي سبقته، وذلك باحتمال قدره $1/k$.

لنفترض أنك البائع، وأنك تعلم أن مهارتك في الإقناع تمكّنك من إقناع زبون من بين ثلاثة (الاحتمال يساوي $1/3$) بأن يقدم عرضا أعلى من جميع العروض التي سبقته مهما كان عددها. وهكذا تتوافر لك فرصة سانحة مرة واحدة كل ثلاثة أحداث. ومن ثمّ يكفي أن تضع $p_k = 1/3$ من أجل كل عدد k، وينتهي الموضوع في هذه الحالة.

لنتقدم خطوة في بحثنا ولنفترض، خلافا للمثال المقدم في *الإطار في الصفحتين 76 و 77* حيث ثبّتنا عدد الزبائن المحتملين واعتبرناه مساويا لـ8، أن هذا العدد عشوائي. ولنرمز بـ a_k لاحتمال وصول أحد الهواة في اليوم الذي رقمه k. عندئذ يكون لدينا $p_k = a_k / 3$. وهنا أيضا، لا نواجه أية مشكلة مع استقلالية الأحداث لأن الفرصة السانحة لا تظهر إلاّ في حالة وجود عرض في اليوم k (عندها يكون الاحتمال يساوي a_k)، وإذا نجحنا في رفع قيمة العرض (الاحتمال يساوي $1/3$).

ومع ذلك، ففي حالة عدد عشوائي من العروض وإذا كانت جميع العروض المتوالية متساوية الاحتمال، فإنك لا تستطيع وضع $p_k = a_k / k$؛ ذلك أن العدد k الوارد في مقام الكسر ينبغي أن يكون العدد العشوائي الممثل للزبائن المحتملين الذين قدموا حتى اليوم k وهذا العدد مرتبط بما جرى من قبل. وهكذا نخسر الاستقلالية فنحن لم نعد ندري كيف نعرّف p_k.

لا شك أن لكل مسألة خصوصياتها، وأن لبعضها خصوصيات متميّزة تجعلها تُعالج بطرق أخرى؛ إلاّ أن مجال تطبيق هذه المسائل جد محدود. أما من حيث مدى التطبيق فخوارزمية «حظ الفوز» يمكن ألا تضاهيها خوارزميات أخرى.

نواحٍ قانونية(**)

إن الحجج التي تؤكد جودة الاختيار والتي كانت تظهر صالحة في البداية، تفقد قيمتها كلها بمجرد اكتشاف أن القرار لم يكن مناسبا. وكل من ارتكب «خطأ» يظل دائما في حالة دفاع. وفي بعض الأحيان يبقى اللوم قائما مدة طويلة حتى إن لم يكن عادلا.

وفي أسوأ الحالات فإنه على «المتهم» السيئ الحظ أن يمثّل أمام لجنة تحقيق. وخوارزمية «حظ الفوز» رغم بساطتها توفر حجة لا يرقى إليها الشك: إنها توفّر لنا الخيار الأمثل. وقد يوجّه إلينا اتهام بالتهاون والإهمال أو بعدم النزاهة أو بمخالفات قانونية، لكننا لن نتهم على الإطلاق بتطبيق سياسة اعتباطية. فإذا أثبت شخص بأن قراره قد اتخذ بعد اختباره بناء على قاعدة استراتيجية، فسيبرهن بذلك أنه لم يتصرف تصرفا ارتجاليا. ثمّ إن التهمة بالإهمال باطلة. فالذي يتّبع استراتيجية مثلى لا ينبغي أن يخشى من أن الإشارة إلى استراتيجية أفضل منها كان ينبغي له معرفتها.

إن أقصى ما يمكن للخصم أن يفعله هو محاولة إثبات خطأ فرضياتك. غير أن هذا البرهان بالغ الصعوبة لأن الجميع يعلم أنه في مستقبل مجهول، تكون معظم الفرضيات خاطئة بالتعريف. وجميع ذلك يُضعف الأحداث المسيئة ويؤكد في ذات الوقت أنه يجب علينا ـ حتى من الناحية القانونية ـ الاهتمام اهتماما خاصا بهذه الاستراتيجية المثلى. وأخيرا، لديكم ما قد يُفحم مرافقكم في السيارة الذي وجّه إليكم النقد فيما يتعلق بمكان توقفها بجوار قاعة المسرح. ■

Limites de la théorie (*)

Aspects juridiques (**)

المؤلف

F. Thomas Bruss

يدرّس الرياضيات في الجامعة الحرة ببروكسل.

مراجع للاستزادة

F. THOMAS BRUSS, *A note on bounds for the Odds-Theorem of optimal stopping, in Annals of Probability*, 31, 1859, 2003.

F. THOMAS BRUSS, *Sum the odds to one and stop, in Annals of Probability*, 28, 1384, 2000.

Y. S. CHOW, H. ROBBINS et D. SIEGMUND, *The theory of optimal stopping*, Dover, New York, 1991.

Pour la Science, No. 335

جراحة العين بوساطة الليزر(*)

منذ أن وافقت إدارة الغذاء والدواء الأمريكية (FDA) في عام 1995 على استخدام الإكزيمر ليزر لجراحة العيون، انتشرت هذه التقنية بشكل سريع جدا. ففي السنة 2003 فقط تم إجراء أكثر من 1.5 مليون عملية لأشخاص يعانون قصر البصر أو بُعْد البصر أو اللابؤرية (الاستجماتزم)، وذلك للتخلص من النظارات الطبية أو العدسات اللاصقة.

وتتعدد طرائق تصحيح البصر بوساطة الليزر، غير أن ما يسمى **الليزك** in situ keratomileusis (Lasik) هو الأكثر قبولا وانتشارا حتى الآن. وتعتمد فكرة هذه العملية على تغيير شكل قرنية العين (وهي المسؤولة عن انكسار الضوء) بوساطة الليزر، الذي يقوم بإزالة بعض خلايا القرنية لتأخذ الشكل الذي يسمح للضوء بأن يتركز على شبكية العين على نحو يجعل الصورة واضحة. وللعلم، قد تحدث مضاعفات جانبية بسيطة عادة لدى 8 في المئة من الأشخاص، ومن ضمن هذه المضاعفات النادرة الإصابة بضعف الرؤية الليلية و**الافتراقات البصرية** distractions، مثل الهالات أو الحلقة التي قد تتلاشى بعد بضعة أشهر أو تتحسن بعد إعادة المعالجة بالليزر. ولقد تم التخلص من هذه المضاعفات حديثا باستخدام أجهزة ليزر متطورة. ومن النادر أيضا حصول مضاعفات وخيمة، منها التهاب القرنية الميكروبي أو **التندب** scarring بنسبة تقل عن 1 في المئة. وعادة ما تحدث هذه المضاعفات بسبب سوء التحضير وعدم استخدام أجهزة التعقيم قبل القيام بالعملية.

وعلى الرغم من نجاح عملية الليزر، فقد لا يستمر تصحيح البصر لدى البعض مدى الحياة. والمعلومات التي يعتمد عليها الأطباء لتقييم هذه العمليات لا تتعدى عشر سنوات من الخبرة فقط، حيث إن هذه العمليات بدأت في أوائل التسعينات. ويتحدث <D. D. كوخ> [أستاذ طب العيون في كلية بيلير] عن العمليات التي أجريت في بادئ الأمر، قائلا: يبدو أن التصحيح لدى الأغلبية كامل، ولكن في حالات قليلة جدا حدث تراجع بعد ثماني أو خمس أو أحيانا ثلاث سنوات. وهذا التراجع البسيط ناجم عادة عن تغيرات طبيعية في العين، وليس سببه عملية الليزك. وفي معظم الحالات يمكن تكرار عملية التصحيح بالليزر، بحيث لا يقل سمك القرنية المتبقي للشخص عن 250 ميكرونا؛ إذ يرى <كوخ> أنه إذا قل سمك القرنية عن 250 ميكرونا فقد يحدث فيها انحناء غير منتظم، وحينئذ تعجز عن دعم ذاتها.

إن المنافسة بالأسعار في جراحة الليزك قد خفضت التكاليف حتى وصلت إلى 1000 دولار أمريكي لتصحيح كل عين، بل ظهرت عروض لعمليات بأسعار أقل. ولكن ما يقلق جمعيات طب العيون إمكان تعرض المرضى للخداع أو تدني الرعاية (بسبب خفض الأسعار على حساب خدمة أفضل). وتقدم إدارة الغذاء والدواء الأمريكية النصح والإرشاد على الموقع: www.fda.gov/cdrh/lasik.

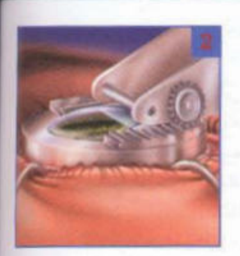
ومن الإجراءات الأخرى التي تتبع لتصحيح البصر تقنيتا PRK (photorefractive keratectomy) واللازك Lasek اللتان تتحاشيان بعض المضاعفات الجانبية التي قد تصاحب الليزك، مثل جفاف العين. ولكن هاتين الطريقتين البديلتين قد تسببان طول فترة الانزعاج والمعاناة، وكذا طول فترة استرجاع البصر مقارنة بعمليات الليزك.

ومن الجديد في جراحة تصحيح البصر هو استخدام تقنية الليزك بمساعدة ما يسمى **الجبهة الموجية** wave-front، وهي طريقة حديثة جدا تمتاز بدقة عالية، إذ يتم من خلالها تصحيح التعرجات البسيطة غير المرئية والتي تعجز عنها أجهزة الليزر القديمة. فباستخدام تقنية الجبهة الموجية يتم القضاء على معظم مضاعفات الليزك، مثل ضعف الرؤية الليلية. والجدير بالذكر أن هذه التقنية قد تمكن 30% من الأشخاص من رؤية أفضل من 20/20. ففي هذه العملية يتم اقتطاع أو تصحيح نقاط محددة من القرنية في عين كل مريض على حدة بدلا من إجراء تصحيح معمم، وهو الأمر المتبع في الطريقة المعتادة لليزك. ولكن الجدير بالذكر أن تقنية الجبهة الموجية تزيد تكاليف عملية الليزك بنحو 400 دولار عن كل عين يجري علاجها. ■

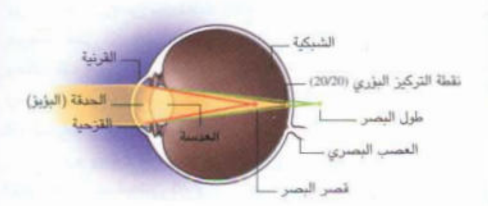
<M. فيسشيتي>

LASER SURGERY (*)





تبدأ جراحة الليزك بوضع قطرات بنج تخدر العين، ثم يضع الجراح علامات على القرنية [1]. وتقوم حلقة ماصّة بتثبيت العين والضغط عليها، بحيث يمكن قطعها بشكل دقيق بوساطة شفرة ذات محرك [2]. وتقطع شريحة رقيقة من القرنية، وتشكل **طبقة سطحية رقيقة** flap قطرها 8 مليمترات وسمكها 150 ميكرونا [هناك إجراء جديد يقوم فيه الليزر بتنفيذ هذا القطع]. تُسحب الطبقة السطحية نحو الخلف، وهذا يكشف عن **السُّدى** stroma. يبخر الليزر الخلايا حتى عمق معين [3]، معيدا تشكل القرنية خلال ثوان قليلة. يطلق الليزر دفقات من أشعة فوق بنفسجية بقياس 193 نانومترا لقطع الخلايا بدقة تصل إلى 0.25 ميكرون. يعيد الجراح الطبقة السطحية إلى وضعيتها [4]، لتلتحم بعدئذ بشكل طبيعي.



تحدث الرؤية الواضحة حينما تركز focuses القرنية أشعة الضوء على الشبكية تماما. ولكن في قصر البصر (الحَسَر) تكون القرنية شديدة الميلان أو يكون قطر **المقلة (كرة العين)** eyeball طويلا جدا؛ لذلك، إن الأشعة المتباعدة الصادرة عن الأشياء القريبة تتجمع على الشبكية، ولكن الأشعة المتوازية القادمة من الأشياء البعيدة تلتقي أبكر كثيرا، فتقع أمام الشبكية وليس عليها، ومن ثم تكون رؤية البعيد غير واضحة. وإن تصحيح مركز القرنية بجعله منبسطا يحل المشكلة في هذه الحالات. أما في طول (مد/ بعد) البصر فالقرنية شديدة الانبساط أو قطر المقلة قصير جدا؛ ولذا تتمركز الأشعة المتوازية القادمة من الأشياء البعيدة وراء الشبكية، وتتمركز الأشعة المتباعدة المنبعثة من الأجسام القريبة أبعد من ذلك وراءها. وإن تبخير حلقة من الخلايا يعطي القرنية تحدبا أكبر في وسطها (يزيد تحدب القرنية)، ولذلك يتم تصحيح طول البصر.

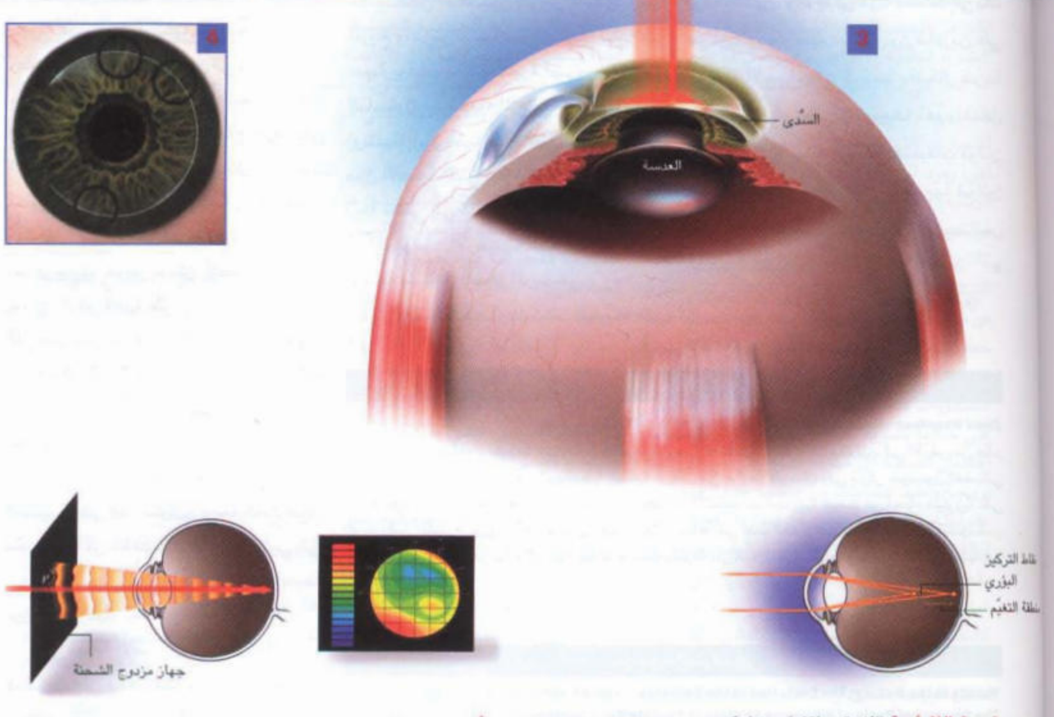
هل تعلم...

▪ **حل جيد:** يقوم أطباء العيون بإعطاء وصفات النظارات وعيوب انكسار الضوء باتباع الطريقة الشخصانية **subjective** التي صار عمرها عقودا، وتقتضي عرض عدسات زجاجية مختلفة أمام عيني المريض وسؤاله عما إذا كانت الأحرف على المخطط تبدو «أفضل بالعدسة الأولى أو بالعدسة الثانية». إن مُشعرات الليزر ذات الجبهة الموجية **wave-front** المصادق عليها مؤخرا والتي ترشد جراحة الليزك، قد تم تعديلها لتوافق مقياسا أكثر حساسية. فهي تختار نقاطا متعددة على العين تؤدي إلى تشخيص يفوق دقة الطريقة الأولى بمقدار 50 ضعفا.

▪ **الرؤية الممتازة:** تقدر الرؤية الجيدة بـ20/20 ـ أي إن الشخص يرى الأشياء التي تبعد 20 قدما بالشكل الذي يجب أن تبدو فيه. [أما في 20/40 فيجب على الفرد أن يقف على بعد 20 قدما ليرى ما تراه العين الطبيعية على بعد 40 قدما]. غير أن كثافة المخاريط الحساسة للضوء (الخلايا الحسية المخروطية) في الشبكية تسمح بقدرة بصرية مقدارها 20/8 (أشد حدة بمقدار ضعفي الحدة العادية) إذا أمكن التخلص من كل زيغ **aberration** في القرنية.

وبوسع الليزرات المتقدمة الموجهة بجبهة موجية **wave-front** أن تحقق ذلك الهدف. وكما يقول «D. دري» [مدير الجراحة الانعكاسية في مركزه في أوفرلاند پارك بكنساس]: «إن هذه الليزرات الموجهة تجد انفتالات **distortions** لم نكن نعلم بوجودها، ويمكنها أن تدل الليزرات الجراحية على طريقة تصحيحها.» وربما أمكن الوصول إلى نظر مثالي عن طريق هذا الإجراء ـ ما لم يؤد إلى عواقب غير متوقعة مثل انفتال الإدراك اللوني.

▪ **أهلا بنظارات القراءة:** هناك عضلات صغيرة جدا تغير من شكل عدسة العين الطبيعية، وتشدها كي تضع الأشياء في بؤرة التركيز. ومع تقدم الإنسان في العمر، تفقد العدسة بعضا من مرونتها؛ وهذا يجعل من الصعب التركيز على الأجسام الصغيرة القريبة. وفي نحو سن الخامسة والأربعين يعاني كل فرد تقريبا هذا النكوص الذي يبقى ثابتا نحو 10-20 سنة أخرى، وتفقد العدسة بعدها كامل مرونتها. وتسمى هذه الحالة عسر (قَدَع/ قصو) البصر **presbiopia**، أي: «العين المسنة». ومن المستحيل تفادي ذلك.



تحدث اللابؤرية (الاستجماتزم) حينما يكون في القرنية مناطق متغايرة (غير متساوية) التحدب؛ وهذا يؤدي إلى تركز الأشعة في نقاط عديدة. وتساعد تسوية السطح على انكسار الأشعة على نحو متناسق.

يُطلق جهاز قياس الجبهة الموجية wave-front أشعة ليزر موجهة إلى داخل العين (إلى الشبكية) لكي تنعكس، وتستشعر انعكاساتها على جهاز مزدوج الشحنة. ويُظهر برنامج حاسوبي الأشعةَ المشوَّهة القادمة من داخل العين التي تسببها حالات **الزيغ** aberration العيني [كالمنطقة الزرقاء في الأيمن]، حتى إن بلغ صغرها 0.05 ميكرون. كما يوجه هذا البرنامج الذي يستخدم تقنية الجبهة الموجية، الليزر لتبخير نقاط محددة على **السَّدى** stroma للتعويض عن كل تشوه. ففي الليزك النظامي (المعتاد)، يقيس الجراح الشبكية بوساطة أدوات تقليدية؛ في حين أن الليزر يقوم باقتطاع منطقة متناظرة مقياسية ليؤمن تصحيحا جيدا ومعمما، وليس موجها كما في تقنية الجبهة الموجية.

تتمة الصفحة 43 (هل اتت الحياة من عالم اخر)

موثوقة تتعلق بالتخليق الحيوي الذي يحدث في عالَم معين من العوالم. وحتى لو توافرت المقوِّمات والظروفُ الملائمة للحياة، فقد تحتاج الحياة إلى مئاتِ الملايينِ من السنين كي تبدأ، أو ربما كان يكفي لذلك خمس دقائق. وكلّ ما يمكننا قولهُ بثقةٍ هو أنه قبل نحو 2.7 بليون سنة، أو ربما قبل ذلك بعدة مئات من ملايين السنين، كانت هناك أشكال من الحياة آخذة في الازدهار على الأرض.

ولما كان من المستحيل في هذا الوقت تحديد عدد جميع الخطوات التي قطعها سيناريو البانسبيرميا، فإن الباحثين لا يستطيعون تحديدَ كمية المادة البيولوجية أو معرفة عدد الخلايا الحية التي يحتمل كثيرا وصولها إلى سطح الأرض في مدة زمنية مفروضة. وأكثر من ذلك، فإن انتقال الأحياء العيوشة لا يقتضي تلقائيا نجاح نموها على الكوكب الذي تبلغه، وبخاصة إذ كان ثمة وجود لحياة عليه. وعلى سبيل المثال، إذا وَصَلَتْ ميكروبات مريخية إلى الأرض بعد نشوء حياة أخرى عليها، فربما لم تكن الأحياء الآتية من خارج الأرض قادرة على أن تحل محل الأنواع التي نمت على الأرض، أو أن تتعايش معها. ومن الممكن أيضًا تَصَوُّرُ أن الحياةَ المريخيةَ وَجَدَتْ بيئةً ملائمةً على الأرض، لكنّ العلماء لم يحددوها بعد. ولم يقم العلماء بِجَرْدِ أكثر من نسبة مئوية صغيرة جدا للعدد الكلي للأنواع البكتيرية على هذا الكوكب. وربما كانت هناك مجموعات من متعضيات حية لا تنتمي إلى الحياة المعروفة على الأرض، تقع تحت أعيننا دون أن نتعرّفها.

وفي نهاية الأمر، ربما لا يكون العلماء قادرين على معرفة ما إذا تحققت البانسبيرميا. وإن تحققت فعلا، فهم لن يعرفوا المدى الذي بلغته إلى أن يكتشفوا حياةً على كوكب أو قمر آخر. فمثلا، إذا وجدت البعثاتُ الفضائية المستقبليّةُ حياة على الكوكب الأحمر، وتوصّلت إلى أن الكيمياء الحيويّة المريخية مختلفة جدا عمّا هي عليه على أرضنا، فسيعرفُ الباحثون مباشرة أن الحياة على الأرض لم تأتنا من المريخ. أمّا إذا كانت تلك الكيمياء الحيوية مشابهة للكيمياء الحيوية على الأرض، فربما يبدأ العلماء بالتفكير في احتمال وجود أصل مشترك للمحيطين الحيويين على الكوكبين. ولو افترضنا أن أشكال الحياة المريخية استعملت الدنا لخزن معلومات جينيّة، لأصبح بمقدور الباحثين دراسةُ سلاسل النيوكليتيدات[1] لحل هذه المسألة. وإذا لم تتبع سلاسل الدنا المريخية نفسَ **الكودْ الجيني** genetic code الذي تتبعه الخلايا الحيةُ على الأرض لصنع البروتينات، فَسَيَخْلُص الباحثون إلى أن پانسپيرميا المريخ والأرض مشكوك فيها. لكنْ ثمة سيناريوهات ممكنة كثيرة أخرى. وقد يجد الباحثون أنّ الحياة المريخيةَ تستعملُ الرّنا أو شيئا آخر لمضاعفة ذاتها. وفي الحقيقة، فإن الأحياء التي قد تُكتشَف على الأرض ربما تنتمي إلى هذه الفئة أيضا، وربما يتبيّن أن المخلوقاتِ الأرضيةَ الدخيلةَ والغريبةَ مرتبطة بأشكال الحياة المريخية.

إن للأسئلة عما إذا كانت الحياة على الأرض قد انطلقت من عليها، أو إذا كان لها أصل بيولوجي في الفضاء، أو إذا كانت نتيجةَ سيناريو وسط بين السيناريوهين السابقين، جوابا ذا دلالة مهمة. فالتركيز على پانسپيرميا المريخ والأرض يوحي بأن الحياةَ، حال نشوئها، كانت قادرة على الانتشار بسرعة داخل نظام نجمي. وفي المقابل، إذا عثر الباحثون على أدلة تبيِّن وجود متعضيات[2] مريخية نشأت مستقلة عن الحياة على الأرض، فهذا يوحي بأن التخليق الحيوي يمكن حدوثه بسهولة في جميع أرجاء الكون. وما يمكن قوله إضافة إلى ذلك هو أن البيولوجيين سيكونون قادرين على مقارنة الأحياء على كوكبنا بأشكال غريبة عنها، ومن ثَم يطورون تعريفا أعمّ وأشمل للحياة. وفي النهاية، سنبدأ باستيعاب قوانين البيولوجيا بالطريقة التي نفهم بها قوانين الكيمياء والفيزياء ـ بوصفها خصائص أساسية للطبيعة. ■

(1) nucleotides، وهو الوحدة البنيوية لحمض نووي.
(2) organisms

المؤلفان

David Warmflash - Benjamin Weiss

سلكا طريقين مختلفين، لكنهما متكاملان وذلك في دراسة احتمال ان تكون الحياة اتت إلى الارض من عالَم اخر. «وورمفليش» متخصصٌ بالبيولوجيا الفلكية، ويعمل في جامعة هيوستن وفي مركز جونسون الفضائي التابع للوكالة ناسا، ويقوم حاليًا بمساعدة علماء يطوّرون الاختبارات الجزيئية للبحث عن احياء ميكروية على المريخ وقمر المشتري يوروپا. اما «وايس»، فهو أستاذ مساعد في قسم العلوم الكوكبية بمعهد ماساتشوستس للتقانة (MIT). وتوحي دراساته الحديثة لنيازك مريخية متنوعة بأن هذه النيازك لم تُعقّم حراريا خلال رحلتها من المريخ إلى الأرض.

مراجع للاستزادة

Worlds in the Making: The Evolution of the Universe. Svante Arrhenius. Harper, 1908.

The Structural Basis of Ribosome Activity in Peptide Bond Synthesis. P. Nissen, J. Hansen, N. Ban, P. B. Moore and T. A. Steitz in *Science*, Vol. 289, pages 878–879; August 11, 2000.

Risks Threatening Viable Transfer of Microbes between Bodies in Our Solar System. C. Mileikowsky, F. A. Cucinotta, J. W. Wilson, B. Gladman, G. Horneck, L. Lindegren, H. J. Melosh, H. Rickman, M. Valtonen and J. Q. Zheng in *Planetary and Space Science*, Vol. 48, Issue 11, pages 1107–1115; September 2000.

Martian Surface Paleotemperatures from Thermochronology of Meteorites. D. L. Shuster and B. P. Weiss in *Science*, Vol. 309, pages 594–600; July 22, 2005.

Origins of the Genetic Code: The Escaped Triplet Theory. M. Yarus, J. G. Caporaso and R. Knight in *Annual Review of Biochemistry*, Vol. 74, pages 179–198; July 2005.

Scientific American, November 2005

أخبار علمية

الاستنساخ واضطرابات نقل النواة(*)

لا يمكن تعميم نجاح الاستنساخ في الحيوانات على الإنسان

إن استنساخ الفئران والخنازير أمر سهل، أما استنساخ الجرذان فأصعب. ولكن استنساخ الإنسان مازال أكثر صعوبة، ولكنه ليس صعبا كاستنساخ القردة. ولا يعرف أحد لماذا يكون استنساخ بعض الأنواع أكثر صعوبة من استنساخ أنواع أخرى. ولكن الدراسات على الفئران تساعد على تحديد هذه الفروق، ويجب أن تمكن الباحثين في النهاية من تحقيق نجاح أكبر في الحصول على خلايا جذعية من الأجنة البشرية لمعالجة الأمراض واستبدال الأعضاء.

أما في ما يتعلق بالاستنساخ العلاجي (المعروف باسم النقل النووي)، فإن أكثر الإنجازات التي تستحق الذكر، والتي تحققت حتى الآن، يعود إلى ‹S. W. هوانگ›[1] [من جامعة سيول الوطنية]. ففي الشهر 2004/2، نشر مختبره تقريرا عن كيفية نقل نوى خلايا عدد من المانحين إلى 242 بيضة، سبق أن نُزعت نواها. لقد أنتج هذا البيض 30 **كيسة أريمية** blastocyst (مرحلة مبكرة من مراحل تنامي الجنين)، أعطت واحدة منها فقط خطا (سلالة) خلويا جذعيا قابلا لتجديد ذاته.

لقد سلّط إنجاز ‹هوانگ› الضوء على الصعوبات التقنية الهائلة، التي يواجهها العاملون على خلايا بشرية مقارنة بخلايا الفأر. فبيضة الإنسان «صعبة الإرضاء»؛ فهي أكبر حجما وأكثر لزوجة وأشد هشاشة من بيضة الفأر. ويصرح ‹هوانگ›، الذي استعاض عن المقاربة المعيارية في إزالة نواة البيضة عن طريق **الرشف** aspiration بالضغط اللطيف على البيضة لإخراج النواة عبر شق صغير جدا، قائلا: «إن بيضة الإنسان كالنُفّاخة (البالون) وليست ككرة التنس.» لقد وجد ‹هوانگ› أن إعادة برمجة **دنا** DNA الإنسان داخل البيضة تتطلب زمنا مضاعفا مقارنة بالحال في الفأر. كما أن الخلايا الجذعية الجنينية في الإنسان تنقسم بسرعة تصل إلى نصف سرعة الانقسام في الفأر. وكما يوضح ‹K. إيگان› [من جمعية الزمالات في جامعة هارڤارد] فإن على الباحثين، خلافا لما عليه الحال في الفأر، أن يزيلوا الكتلة الخلوية الداخلية للخلايا الجذعية لجنين الإنسان من الطبقة الخلوية الخارجية (الطبقة التي ستشكل المشيمة) للكيسة الأريمية، وإلا فإن الخلايا الجذعية لن تنقسم.

وتنشأ عقبات أخرى نتيجة نقص في الخبرة. ويذكر ‹هوانگ›: «كان علينا أن نبدأ من المستوى الأدنى ونفتح كل باب نصادفه.» ورغبة منه في انتقاء الأفضل، استعمل ‹هوانگ› تحويرا لوسط زَرْع صُمم أصلا لإنماء الخلايا الجذعية البقرية. ويوضح ‹D. ميلتون› [من كلية طب هارڤارد، وهو الذي أتاح للباحثين استعمال 17 خطا (سلالة) جديدا من الخلايا الجذعية الجنينية طورها من أجنة منحها أصحابها] أن الإتاحة المحدودة للخلايا الجذعية الجنينية البشرية، إضافة إلى الجوانب القانونية والأخلاقية، تبطئ هي الأخرى التقدم في هذا المجال. ويرى ‹ميلتون› أن **المادة المبدئة** starting material قد تؤثر في النتيجة. ويقول في ما يتعلق بالباحثين في الولايات المتحدة: «لقد عملنا في حالة الإنسان على أجنة مجمدة فقط، أما في الفئران فإننا نعمل على أجنة **طازجة** fresh.»

وتتضمن المآزق الأخرى تحديد أفضل الخلايا المانحة لغرض إجراء النقل النووي. يجب أن تكون هذه الخلايا متاحة وفعالة في أن واحد. لقد استعمل ‹هوانگ› **خلايا الرُكمة** cumulous cells من المبيض، وهي خلايا ليس الحصول عليها بالأمر اليسير. وبطبيعة الحال، فإنها لا توجد في الذكور.

ولكن في ما يتعلق بالفعالية، فإن الباحثين يرون أنه كلما كانت الخلايا المتبرع بها غير ناضجة وغير متمايزة كانت أفضل. ويوضح ‹R. جينيش› [خبير قيادي في استنساخ الفأر في معهد وايتهيد للأبحاث الطبية الحيوية في كمبردج بماساتشوستس] أن أكثر الخلايا فاعلية، إنما أصعبها من حيث الحصول عليها، هي الخلايا الجذعية الجنينية. تليها في ذلك الخلايا الجذعية **الجسدية** somatic غير الناضجة نسبيا، وهي نادرة ويتعذر الحصول عليها. ويلي ذلك الخلايا الأكثر سهولة في الحصول عليها وهي الخلايا الناضجة المتمايزة، والتي تشكل نُسُج الجسم. وأكثر الخلايا تطرفا من حيث الصعوبة وعدم الكفاية (الفاعلية)، هي الخلايا المناعية *البائية* *والتائية* العالية التخصص. ويلي ذلك العصبونات



طبق زرع يتحدى: كان الاستنساخ في الرئيسات عسيرا، خلافا للمخلوقات الأخرى. تُبين الصورة أعلاه عملا استنساخيا لأجنة البقر.

طريق النجاح طويلة(**)

إن فكرة الاستنساخ فكرة مباشرة: نقل نواة خلية بالغة إلى خلية بيضة سبق أن أزيلت نواتها. بعد ذلك تُجنى الخلايا الجذعية التي تتشكل عندما تبدأ البيضة بالانقسام. ولكن على الرغم من النجاحات التي تحققت في ثدييات أخرى، فإن النقل النووي في الإنسان (وهو التعبير الذي يفضل العلماء إطلاقه على تقانة الاستنساخ من أجل أغراض علاجية) أثبت صعوبته وعدم فاعليته. وتبقى الأسئلة حول مدى جودة أي خلايا جذعية يتم جنيها. ويواجه الباحثون أيضا تحديا يتمثل في طريقة التعامل مع الخلايا الجذعية الجنينية كي تنتج النسج المرغوب فيها، وحث تلك النسج كي تعمل داخل الجسم [انظر: «*تحديات الخلايا الجذعية*»، العلوم، العددان 9/8 (2004)، ص 66].

(*) TRANSFER TROUBLES
(**) A Long Way to Go

(1) في الشهر 2005/12، تعرض هذا العالم لانتقادات شديدة حول ادعائه بأنه يمتلك دليلا على أن فريقه استطاع تكوين خلايا جذعية مصممة لعلاج بعض الأمراض. وذكرت جامعة سيول الوطنية أنها ستكثف التحقيق في ملف هذا العالم بعد الادعاءات بأن بعض الفقرات الرئيسية في أبحاثه ملفقة. (التحرير)

الحسية الشمية التي لا تنقسم وذات التخصص العالي، وهي التي اعتبرت حتى وقت قصير خلايا غير قابلة أساسا للاستنساخ. ولكن في الشهر 2004/2 استنسخ ‹جينيش› و‹إيكان› و‹R. أكسل› [من جامعة كولومبيا] بنجاح فئرانا من عصبونات شمية، واعتبر هذا العمل الفذ إنجازا تقنيا بارعا.

ويحتاج الباحثون حاليا إلى أن يعثروا على خلايا أكثر فاعلية من العصبونات، وأسهل من الناحية العملية من الخلايا الجذعية الجنينية. ويقول ‹إيكان› إن التجارب على الفئران تشير إلى أن النقل النووي يعمل على أحسن وجه عندما تكون البيضة ناضجة كي تُخصب وجاهزة كي تنقسم. وتكون البيضة على استعداد للانقسام إذا ما أتت النواة المنقولة من خلية تنقسم كثيرا، مثل الخلية المناعية. ولكن الخلايا الجذعية الجنينية، تطوِّر بسهولة أكبر خطا (سلالة) خلويا ذاتي التجديد إذا ما كانت الخلية المانحة للنواة **هاجعة** quiescent، مثل **العصبون** neuron أو الخلية الجذعية الجسدية. وبطبيعة الحال، تتمثل الحذاقة هنا في إيجاد خلية مانحة تدفع نواتُها البيضةَ إلى الانقسام وتنتج خلايا جذعية دائمة.

ويعتقد ‹ميلتون› «أن هذه الصعوبات التقنية مجرد إشارة إلى أن هذه المرحلة هي الأيام المبكرة للنقل النووي. ويتنبأ قائلا: «بعد سنوات قليلة، ستبدو هذه الأمور جميعها سهلة التحقيق.» ■

‹M.C. ديلود›

ذروة النجاح(*)

صارت نظرية *الانفجار الأعظم* أشد *ترابطا* مما كانت عليه.

170 000 نقطة، كل منها مجرة، وهي تغزل شبكة كثيفة عبر شريحة من الفضاء. وحاليا أصبحت مثل هذه الخرائط شاملة لدرجة تكفي للربط بين البنى الكونية من جهة والتارجحات الأزلية التي بذرتها من جهة أخرى.

كلما نشرت مجلة *ساينتفيك أمريكان* مقالة عن الكوسمولوجيا، تتلقى رسائل تشكو من أن الكوسمولوجيا ليست علما، وأنها مجرد تامل لا ضابط له. ولكن، وإن كان الأمر هكذا فيما مضى، فهو بالتأكيد لم يعد صحيحا. فالسنوات القليلة الماضية وحدها، شهدت تدفقا لافتا من الأرصاد العالية الدقة عن الكون، وفي أضخم مقاييسه. وهذه الأرصاد لم تُعط نظرية الانفجار الأعظم متانة في الدقة الكمية فحسب، بل أشارت أيضا إلى نتائج ثانوية جديدة. وقد تكون هذه النتائج بصمات طال البحث عنها، خلّفها توسع الكون والمادة الخفية الباردة. ويعلق الكوسمولوجي ‹D. تايتلر› [من جامعة كاليفورنيا في سان دييكو]: «كانت الكوسمولوجيا في السابق شواطئ منعزلة للفكر، أما الآن فيمكنها المضي إلى دراسة المستوى الأعمق من الشرح والتفصيل.»

ومع أن نظرية الانفجار الأعظم ظلت مدعومة لزمن طويل بثلاث دعائم رصدية (وهي: الخلفية الكونية من الإشعاع الميكروي الموجه، ووفرة العناصر الخفيفة، وسرعة هروب المجرات البعيدة)، فإن هذه الركائز تدعم جوانب مختلفة من النظرية. ففي العام 2000 فقط، بلغت أرصاد الدعامة الأولى دقة تكفي للتأكد من الدعامة الثانية. وقد قاس مقرابان محمولان على منطادين، سُمِّيا بوميرنك Boomerang ومكسيما Maxima الإشعاع الخلفي الميكروي الموجة بميز(1) يقل عن الدرجة الواحدة، فكشفا تأرجحات على المقاس الصغير. وقد بدا أن هذه التأرجحات تصبح في أقصى شدتها عند مقاسات معينة تُسمى **ذرا** peaks، فهي على غير ما كانت عليه تأرجحات المقاس الأكبر، التي صنع لها القمر الصنعي (الساتل) COBE شهرة منذ نحو 15 سنة (لأن هذه التأرجحات لا تتغير مع المقاس وتظهر بالشدة النسبية ذاتها بصرف النظر عن حجمها أو كميتها).

يستطيع الكوسمولوجيون، من هذه الذرا وشدتها، اكتشاف هندسة الفضاء وكثافة المادة فيه. ويُعتقد أنه مع تضخم الكون فإن تأرجحات الكثافة انطلقت بشكل مستقل عن مقاساتها لتتطور إلى اهتزازات متواقتة على مقاسات متزايدة دائما. وتكشف الخلفية المكونة من الموجات الميكروية، إلى أي مدى وصلت إليه هذه السيرورة عندما صار عمر الكون 400 000 سنة. فبعد هذا الزمن، بدأت الاهتزازات تتخامد، لأن الثقالة أحالت المادة إلى أجرام سماوية مثل المجرات.

كان ما جمعه المقرابان بوميرانك وماكسيما أخبارا حسنة وأخرى سيئة. فقد أظهرت الأجهزة أضخم الذرا المتوقعة، مما يثبت أن الكون، من الناحية الهندسية، منبسط، ولكنها أخفقت في رؤية ذروة ثانية. وهذا يعني

(*) THE PEAK OF SUCCESS

(1) resolution

أن في الكون مادة عادية أكثر بكثير مما يمكن أن تدعمه وفرة العناصر.

ولحسن حظ الجميع، فإن هذا التباين اختفى الآن. ففي الشهر 2001/4 اكتُشفت الذروة الثانية، وقد اكتشفها مقراب ثالث هو المقراب DASI[1] المقام على الأرض ويديره <J. E. كارلستروم> وفريقه في جامعة شيكاغو. وفي أثناء ذلك، تحقق فريق بوميرانك من أنه قد بولغ في تقدير دقة التوجيه في جهازهم، مما موّه الصور وأخفى تفاصيلها الدقيقة. وعندما قوّم الفريق هذا الانحراف، وأدخلوا البيانات الجديدة، برزت الذروة الثانية. أما نتائج ماكسيما المتعلقة بالذروة الثانية، فلم تتغير، ولكن عوائق أخطائها[2] تشمل، على أية حال، قيم التجارب الأخرى.

ولقد دفعت تنقيحات المقراب بوميرانك بعض الكوسمولوجيين إلى التساؤل: أي النتائج يصدقون، ولكن الراصدين ردوا بأن اتفاق نتائج التقنيات المستقلة أساس لبناء الثقة. وعلى أية حال، لابد أن تتضح الحقيقة قريبا بفضل مسبار ناسا MAP[3]، وبفضل أرصاد أجهزة أرضية ميزها أعلى من سابقاتها.

ومع أن بيانات بعض وسائل الإعلام وصفت هذه الاكتشافات بأنها «تأكيد» لتضخم الكون ولوجود المادة الخفية الباردة، فإن هذا غير صحيح تماما. فالتسطح الهندسي ولاتغير المقاس، هما ما كانا متوقعين قبل التضخم بمدة طويلة، وذلك اعتمادا على مبادئ عامة جدا. صحيح إن بدائل نظرية التضخم استُبعد معظمها لأنها أخفقت في توقع وجود ذرا عديدة، إلا أن هذا ليس معناه تأكيد التضخم نفسه. وعلى نحو ذلك، يصعب التأكد من أن المادة الخفية هي شيء واقعي ملموس وليس بدعة نظرية.

ومع ذلك، ربما لا يكون الدليل المباشر بعيدا عنا. فثمة إيماءات إلى وجود «ميلان» tilt خفيف (أي انحراف خفيف عن لاتغير تام في المقاس، كما تتنبأ به النماذج التضخمية) في الخلفية الإشعاعية الميكروية، وتبعا لـ<R. A. C. كروفت> [من مركز هارفرد السميثوني للفيزياء الفلكية] فإن هذا «الميلان» هو في توزّع الغيوم الغازية ما بين المجرات. أما من أجل المادة الخفية فيقول <A. كوزوفسكي> [من جامعة رَتجرز]: «إن اختبار الشدة النسبية للذرا، هو إلى حد ما محاولة لا أمل منها[4]». فالمادة الخفية الباردة تسهم في الثقالة، ولكن ليس في الضغط. لذا فهي تفاقم الذرا الفردية العدد (التي تمثل الجزء الذي تسود فيه ثقالة دورة الاهتزازات الأزلية). وهذا على حساب الذرا الزوجية العدد (التي تمثل الجزء الذي يسوده الضغط). فإذا أمعنت النظر في البيانات الشائعة، أمكنك عندئذ أن تقول إن الذروة الثالثة هي في الحقيقة أكبر. ولحسن الحظ، إن إمعان النظر هذا لن يكون عن قريب ضروريا، بعد التحسين الذي يُجرى حاليا على دقة القياس. ■

<G. موسر>

(*) Flat Maps of the Brain
(1) the ground-based Degree Angular Scale Interferormeter
(2) its error bars
(3) NASA'S Microwave Anisotropy Probe
(4) do-or-die

دعائم الانفجار الأعظم الأربع(*)

يشير طيف الخلفية الشعاعية الكونية من الموجات الميكروية إلى أن البلازما الحارة، كانت تملأ الكون في سالف الزمن. وتكشف البنية الرقعية patchiness أن هذا الحساء الأزلي لم يكن منتظما بعض الشيء.

ووفرة العناصر: هي تاريخيا الدعامة الأكثر دقة بين الدعائم الأربع، فهي تؤكد أن التفاعلات النووية جرت في كون حار يتوسع.

وإن تناسب السرعة مع المسافة يظهر أن الكون يتوسع. وتوحي الانحرافات الخفيفة عند المسافات الكبيرة بأن التوسع قد تسارع. ويدعم هذه الفكرة أبعد مستعر أعظمي شوهد حتى الآن (وهو الذي رصده في الشهر 2001/4 فريق بحث المستعرات الأعظمية High-Z Supernova Search Team).

ودراسات البنى على نطاق واسع لترتيب المجرات وحركتها، وغيوم ما بين المجرات، مثل الدراسة 2dF Galaxy Redshift Survey، هي التي كانت ترفع لواء هذه الدعامة الجديدة. فهي تنظر أساسا في المقاسات التي تقدر بعدة بلايين من السنين الضوئية وما دون. وقد تداخلت بإحكام مع دراسة الخلفية من الموجات الميكروية التي تسبر البنى الحديثة الولادة والتي تمتد لـ100 مليون سنة ضوئية وأكثر. فهاتان الدعامتان، الأولى والرابعة، لم تعودا مجرد نمطين متسقين إجمالا، فقد ظهرت بعض آثار تأرجحات الخلفية الميكروية الموجة في ترتيب المجرات.

في الصحة وفي المرض(*)

ليس لديك الوقت لإجراء الفحص الطبي الدوري؟ حاول أن تُرسل زوجتك إلى الفحص بدلا منك، إذ إنها ستنبئ بحالتك الصحية بالقدر الذي ينبئ بها مستواك الثقافي ودخلك. لقد قام <S. ويلسون> [الباحث في العلوم السياسية بجامعة بريگهام يونگ] بتحليل البيانات المأخوذة من أكثر من 4700 من الأزواج (رجل وامرأة) الذين بلغوا الخمسينات من العمر وشملتهم الدراسة الخاصة بالصحة والتقاعد التي أجريت عام 1992. وقد وجد هذا الباحث أن الرجال المراضين[1] يرجح أن تكون زوجاتهم من النساء المراضات بعكس الرجال الأصحاء. كما تبين له أن اثنين في المئة فقط من الرجال ذوي الصحة الممتازة لهم زوجات معتلات، وأن خمسة في المئة فقط من هؤلاء لهم زوجات بحالة صحية مناسبة. وفي المقابل، فإن ثلاثة عشر في المئة من الرجال المرضى لهم زوجات عليلات. وأن أربعة وعشرين في المئة منهم لهم زوجات بصحة مناسبة. وثمة عوامل عدة تسهم في إيجاد هذه العلاقة المتبادلة، ومن هذه العوامل أن الناس يميلون إلى الزواج من أفراد ذوي بيئة مماثلة لبيئتهم، وأن الأزواج أكثر ميلا لاتباع خيارات متماثلة فيما يخص الحمية (القوت) والتدخين والمشروبات الكحولية. كما أن اشتراكهم في التعرض لنفس العوامل البيئية وللضغوط النفسية ذاتها قد يؤدي دورا في ذلك. وقد اقترح في الدراسة التي نشرها أن تُركز الرعاية الصحية اهتمامها على الأسرة بمجملها وليس على أفرادها فقط. ■

(*) IN SICKNESS AND IN HEALTH
(1) ممراض sickly: كثير المرض. (التحرير)

هل يحول فيروس التهاب الكبد دون الإصابة بالربو؟(*)

ترى فرضية **التصحّح** (**حفظ الصحة**) hygiene أن ارتفاع معدلات الربو و**حمى الكلأ** (**حمى الدَّريس**) hay fever والإكزيما (القوباء) وغيرها من الأمراض **الأرجية** allergic نجم في العقدين الماضيين عن ظروف العيش المفرطة **الاستصحاح**(1) sanitization السائدة في الأقطار الصناعية. فلأن الأطفال يتعرضون لفيروسات وبكتيرات أقل من ذي قبل ـ حسبما تقول النظرية ـ فإن أجهزتهم المناعية تميل إلى فرط الاستجابة لمواد غير مؤذية عادة، مثل **غبار الطلع** pollen و**الهِبْرِيَّة**(2) dander.

ولكن هذه النظرية تخفق في تعليل السبب الذي يجعل بعض الناس أكثر استعدادا من غيرهم للإصابة، أو لماذا لايزال أولئك الذين يعيشون في بيئات قذرة يصابون بالربو. غير أن دراسة جينية حالية لفتت النظر إلى آلية مقبولة تفسر ظهور الأرجية؛ إذ ترى أن فيروس التهاب الكبد من النمط A الذي ينمو ويزدهر في البيئات **الملوثة** polluted ربما يقي من الربو.

ولما كانت الأرجيات تميل إلى التكرر في الأسر، فقد قام فريق بقيادة <T .D. أومتسو> و<R. دي كرويف> [من كلية الطب في جامعة ستانفورد] بالبحث عن مكوّن جيني. ويقول <أومتسو>: «كنا على علم بأن العثور على جينة تؤهب البشر للإصابة بالربو سيكون مهمة ضخمة، لذا قررنا أن نبسط المشكلة ونعتمد على استخدام نموذج من الفئران.» لقد تمخضت تلك الدراسات عن جينة واحدة هي الجينة *TIM-1*، التي تجعل الفئران مهيأة للإصابة بالربو.

بيد أن الباحثين حصلوا على أكثر مما توقعوا. لقد ذكر <أومتسو> في الندوة التي عقدتها مؤسسة Novartis بلندن في الشهر 2004/6 «أن الجينة *TIM-1* هي أيضا المستقبلة التي يستخدمها فيروس التهاب الكبد من النمط A كي يخمج (يعدي) الخلايا البشرية.» وكان هذا اكتشافا مهما؛ إذ وجد <P. ماتريكاردي> [الذي يعمل الآن في مستشفى Bambino Gesù للأطفال بروما] أن الأرجيات تحدث بتواتر أقل كثيرا بين الناس الذين تعرضوا لفيروس التهاب الكبد من النمط A. وينتشر التهاب الكبد من النمط A عن طريق التعرض لبراز شخص مخموج (مُعْدَى) فيسبب يرقانا وأعراضا شبيهة بأعراض الإنفلونزا (النزلة الوافدة)؛ ويشفى الالتهاب عادة من تلقاء ذاته.

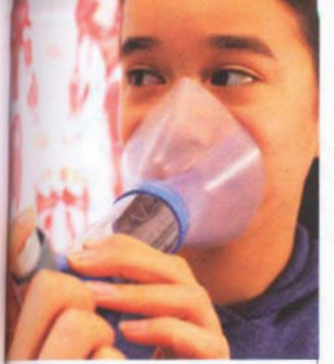
وجد فريق ستانفورد أن الناس يحملون **شكلا** variant من الجينة *TIM-1* قد يكون طويلا أو قصيرا. وفي دراسة شملت 375 فردا وجد الباحثون أن نسبة الإصابة بالربو لدى مَنْ حملوا النسخة الطويلة من *TIM-1* وأصيبوا بعدوى فيروسالتهاب الكبد من النمط A بلغت تقريبا ربع ما بلغته بين مَنْ يحملون النسخة القصيرة. (وبصفة عامة فإن نحو 7–12 في المئة من أطفال الولايات المتحدة يصابون بالربو). ويبدو أن الوقاية تتوقف على عاملين مهمين هما: وراثة النسخة الملائمة من الجينة *TIM-1* والإصابة بالتهاب الكبد من النمط A.

وهذه النتائج المثيرة تركز الضوء على أهمية التآثرات الجينية مع البيئة في موضوع الإصابة بالربو. ولما كان ما يقرب من ثلثي البيض والسود ونحو نصف عدد ذوي الأصول الآسيوية في الولايات المتحدة يحملون النسخة الواقية من الجينة *TIM-1*، فقد تتمكن نوبة من عدوى التهاب الكبد من النمط A من الحد من الأرجيات. ولكن حينما كان الناس جميعا قبل عقد السبعينات معرضين فعليا لعدوى ذلك الفيروس، فإن حياتنا اليوم التي تتوافر فيها الشروط الصحية الأفضل والالتزام الأشد بقواعد الاستصحاح أدت إلى جعل 25-30 في المئة فقط من سكان البلدان المتقدمة معرضين للعدوى.

فإذا كانت مسألة التصحّح ذات شأن كبير، فلماذا يعاني أطفال الأحياء القديمة المزدحمة ربوًا وخيما؟ تقول إحدى النظريات الرئيسية إن التعرض لروث الصراصير يثير المشكلة، وهذا يبدو مناقضا لنظرية التهاب الكبد من النمط A وفرضية التصحح. غير أن «ماتريكاردي» ينبه إلى أن التلوث بالبراز قد تناقص في المناطق الفقيرة أيضا في القرن العشرين، تماما مثلما حدث في كل مكان آخر في الولايات المتحدة. ويقول في هذا الصدد: «هؤلاء الأطفال سيئو الطالع، إذ لديهم الآن الاستعداد للإصابة بالأرجيات، كما أنهم لايزالون معرضين لروث الصراصير و**مستارجات** allergens الفئران و**الحلَم** mites ودخان التبغ.»

يقول المختص بالوراثة <W. كوكسن> [من مركز Wellcome Trust للوراثة البشرية في أكسفورد بإنكلترا] «إن التعرض لالتهاب الكبد من النمط A هو إحدى الآليات المحتملة لكيفية عمل فرضية التصحّح.» ويضيف <كوكسن> قائلا: «إن فريق <أومتسو> قدم عملا مثيرا، إلا أن دراسته بحاجة إلى المتابعة، وسيكون من المفيد تكرارها وتعميمها.» ومن الطبيعي ألا يختار أحد العودة إلى الأيام السالفة الرديئة، التي اتسمت بالصرف السيئ للمياه وبتفشي العداوى، من أجل اتقاء خطر الربو. إن فريق ستانفورد هو الآن بصدد اختبار إمكان قيام اللقاح بتولي إنجاز هذه المهمة بدلا من ذلك. ■

<L. ملتون>



قد ينشأ الربو والأمراض الأرجية (التحسسية) الأخرى عن الظروف الحياتية المفرطة في حفاظها على الشروط الصحية (التصحّح).

تزايد حالات الربو(**)

- عدد المصابين بالربو في العالم: 100-150 مليونا.
- عدد من يعانون الربو في الولايات المتحدة: 17 مليونا.
- عدد من عانوا الربو في الولايات المتحدة في العام 1980: 7 ملايين.
- النسبة المئوية للأشخاص المصابين بالربو في الدول الصناعية: 10-20.
- متوسط الزيادة في العالم على مدار عشر سنوات: 50 في المئة.

المصدر: منظمة الصحة العالمية؛ المعاهد الوطنية للصحة، مراكز التحكم في الأمراض والوقاية منها. بيانات عن العامين 2000-2001.

(*) BREATHING WITH HEPATITIS
(**) Asthma on the Rise
(1) توفير الشروط الصحية في البيئة المحيطة.
(2) قشور دهنية جافة تفرزها فروة رأس الإنسان وفراء الحيوانات وريشها.
(التحرير)